

TREBALL FI DE GRAU

**Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica**

# **AUTOMATITZACIÓ D'UNA PLANTA DE PRODUCCIÓ DE BIOETANOL**



**Memòria i Annexos**

**Autor:** Pol Conesa Morató  
**Director:** Javier Francisco Gámiz Caro  
**Convocatòria:** Setembre 2019



## Resum

Aquest projecte pretén unir dos temes els quals estan presents al dia a dia de la nostra societat, el primer i el més important és l'àmbit de l'automatització industrial per a controlar i supervisar processos i l'altre la conservació del medi ambient.

L'automatització dels processos permet que aquests siguin més eficients, més productius, permet minimitzar els costos de producció, la realització de manteniments preventius i alhora portar un control de l'estat del procés en tot moment. Per a automatitzar un procés també és necessari un sistema de control i supervisió, aquesta interfície home-màquina (HMI) ajuda als operaris a realitzar millor i de manera més senzilla la seva feina.

Un dels grans problemes en l'actualitat és la contaminació, és per això que aquest projecte intenta ser una punta de llança per a revolucionar el món dels combustibles i biocombustibles per al sistema de transport.

La realització del projecte es duu a terme amb la tecnologia del fabricant Siemens. El hardware que s'utilitza es compon d'un controlador lògic programable (PLC) S7-1500 i qualsevol pantalla del tipus Comfort per a visualitzar l'estat del procés. Respecte al software, s'utilitza el TIA Portal V15.1 per a la programació del PLC, el SIMATIC WinCC Advanced V15.1 per a la programació i simulació de l'HMI i el PLCSIM V15.1 per a la simulació del PLC i el programa.

El sistema desenvolupat compleix amb els requisits principals dels quals ha de disposar qualsevol sistema automàtic actualment, com per exemple supervisar i controlar els processos, visualitzar i exportar dades d'interès i a més implementa un sistema de gestió d'usuaris.

## Resumen

Este proyecto pretende unir dos temas los cuales están presentes en el día a día de nuestra sociedad, el primero y el más importante es el ámbito la automatización industrial para controlar y supervisar procesos y el otro es la conserva del medio ambiente.

La automatización de los procesos permite que estos sean más eficientes, más productivos, permite minimizar los costes de producción, la realización de mantenimientos preventivos y a la vez, llevar un control del estado del proceso en todo momento. Para automatizar un proceso también es necesario un sistema de control y supervisión, esta interfaz hombre-máquina (HMI) ayuda a los operarios a realizar mejor y de manera más sencilla su trabajo.

Uno de los grandes problemas en la actualidad es la contaminación, es por eso que este proyecto intenta ser una punta de lanza para revolucionar el mundo de los combustibles y biocombustibles para el sistema de transporte.

La realización del proyecto se lleva a cabo con la tecnología del fabricante Siemens. El hardware que se utiliza se compone de un controlador lógico programable (PLC) S7-1500 y cualquier pantalla del tipo Comfort para visualizar el estado del proceso. Respecto al software, se utiliza el TIA Portal V15.1 para la programación del PLC, el SIMATIC WinCC Advanced V15.1 para la programación y simulación de la HMI y el PLCSIM V15.1 para la simulación del PLC y el programa.

El sistema desarrollado cumple con los requisitos principales de los que tiene que disponer cualquier sistema automático actualmente, como por ejemplo el de supervisar y controlar los procesos, visualizar y exportar datos de interés y además implementa un sistema de gestión de usuarios.

## **Abstract**

This project aims to unite two themes which are present in the daily life of our society, the first and most important is the field of industrial automation to control and supervise processes and the other is the conservation of the environment.

The automation of the processes allows them to be more efficient, more productive, allows minimizing production costs, performing preventive maintenance and, at the same time, allows the control of the state of the process at all times. In order to automate a process, a control and supervision system is also necessary, this human-machine interface (HMI) helps the operators to perform their work better and more easily.

One of the big problems today is pollution, which is why this project tries to be a spearhead to revolutionize the world of fuels and biofuels for the transportation system.

The realization of the project is carried out with the technology of the manufacturer Siemens. The hardware used consists of a programmable logic controller (PLC) S7-1500 and a Comfort type display to visualize the process status. Regarding the software, the TIA Portal V15.1 is used for programming the PLC, the SIMATIC WinCC Advanced V15.1 for programming and simulate the HMI and the PLCSIM V15.1 for the simulation of the PLC and the program.

The developed system complies with the main requirements that any automatic system currently needs, such as monitoring and controlling processes, visualizing and exporting the interesting data and also implementing a user management system.

## Glossari

HMI : *Human-Machine Interface* (Interfície Home-Màquina).

PLC: Controlador Lògic Programable.

DB: Bloc de dades

FC: Funció

FB: Bloc de funció amb un DB associat

Main: Programa principal

P&ID: *Piping and Instrumentation Diagram* (Diagrama de canonades i instrumentació)

Bool: booleà

Int: enter

# Índex

<b>RESUM</b>	<b>I</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>GLOSSARI</b>	<b>IV</b>
<b>1. PREFACI</b>	<b>3</b>
1.1. Objectiu del treball.....	3
1.2. Motivació .....	3
<b>2. INTRODUCCIÓ</b>	<b>5</b>
2.1. Objectius del treball.....	5
2.2. Abast del treball.....	5
<b>3. LA BIOENERGIA</b>	<b>7</b>
3.1. La bioenergia.....	7
3.2. L'etanol com a combustible.....	10
3.2.1. Producció mundial d'etanol .....	14
3.2.2. Producció i consum d'etanol a la Unió Europea .....	15
<b>4. ANÀLISI DEL PROCÉS</b>	<b>17</b>
4.1. Descripció del Procés a Automatitzar.....	17
4.2. Química i model del Procés .....	18
4.2.1. Recepció i emmagatzematge del blat de moro .....	18
4.2.2. Mòlta.....	19
4.2.3. Pre-mescla, cocció i liqüefacció.....	20
4.2.4. Sacarificació i fermentació .....	22
4.2.5. Sistema de deshidratació de l'etanol .....	25
4.2.6. Tractament de recuperació, purificació i emmagatzematge del CO <sub>2</sub> generat a la fermentació .....	29
4.2.7. Tractament d'efluents, corrent de "vinassa" .....	30
4.2.8. Tanc d'emergència .....	31
4.3. Diagrames P&ID .....	32
4.3.1. Unitat 1 .....	33
4.3.2. Unitat 2 .....	33
4.3.3. Unitat 3 .....	34

4.3.4.	Unitat 4.....	35
4.3.5.	Unitat 5.....	36
4.4.	Instrumentació i control .....	37
4.5.	Selecció d'equips .....	41
4.5.1.	Tanc de premescla .....	41
4.5.2.	Intercanviador de calor .....	47
4.5.3.	Tanc de fermentació .....	50
4.5.4.	Columna de destil·lació .....	55
4.5.5.	Tamisos moleculars.....	62
<b>5.</b>	<b>INTRODUCCIÓ AL TIA PORTAL .....</b>	<b>68</b>
5.1.	Introducció.....	68
5.2.	Llicències per al Tia Portal .....	69
5.3.	Vista del projecte i vista del portal .....	70
5.4.	Idioma de la interfície .....	72
5.5.	Guardar i migrar un projecte.....	73
5.6.	Llibreries.....	74
5.7.	Eines <i>online</i> .....	75
5.8.	Variables locals i globals .....	76
5.9.	Tipus de blocs i dades del programa .....	77
5.9.1.	Tipus de blocs de programa.....	77
5.9.2.	Tipus de dades .....	77
<b>6.</b>	<b>DISSENY I IMPLEMENTACIÓ DE LA SOLUCIÓ .....</b>	<b>79</b>
6.1.	Arquitectura del Sistema de Control.....	79
6.1.1.	Hardware del Sistema.....	79
6.1.2.	Software del Sistema .....	80
6.1.3.	Vista global de les Comunicacions.....	80
6.2.	Simulació del Procés .....	81
6.3.	Descomposició del Problema de Control.....	84
6.3.1.	Tanc de premescla .....	84
6.3.2.	Intercanviador de calor .....	86
6.3.3.	Tancs de fermentació.....	87
6.3.4.	Sistema de deshidratació.....	89
6.3.5.	Tanc d'emergència.....	90
6.4.	Codificació dels elements i sistemes .....	91
6.5.	Programa del controlador .....	106



6.5.1.	Estructura del programa .....	106
6.5.2.	Definició dels tipus de dades.....	108
6.5.3.	Seqüències de control .....	109
6.6.	Programa de la HMI .....	159
6.6.1.	Arbre de navegació.....	159
6.6.2.	Disseny de les pantalles de l'aplicació.....	160
6.6.3.	Disseny de la interfície d'alarmes del sistema .....	167
6.6.4.	Gestió d'usuaris .....	171
<b>7.</b>	<b>PROVES I RESULTATS .....</b>	<b>173</b>
7.1.	Disseny de les proves de funcionalitat .....	173
7.2.	Resultats de les proves .....	175
<b>8.</b>	<b>NORMATIVA .....</b>	<b>181</b>
8.1.	Implementació del programa del PLC .....	181
8.2.	Programació de la HMI .....	183
<b>9.</b>	<b>ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL .....</b>	<b>184</b>
	<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>185</b>
	<b>PRESSUPOST .....</b>	<b>187</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>191</b>
	<b>WEB GRAFIA .....</b>	<b>193</b>
	<b>ANNEX A : P&amp;ID .....</b>	<b>194</b>
A1.	P&ID Unitat 1 .....	194
A2.	P&ID Unitat 2 .....	195
A3.	P&ID Unitat 3 .....	196
A4.	P&ID Unitat 4 .....	198
A5.	P&ID Unitat 5 .....	199







# 1. Prefaci

## 1.1. Objectiu del treball

L'objectiu principal del treball és poder consolidar tots els conceptes apresos al llarg de la carrera i posar-los en pràctica per a realitzar un projecte que a més d'acreditar els coneixements necessaris per a l'obtenció del títol d'Enginyer Tècnic Industrial, també inclogui un creixement personal i professional.

Aquest treball s'inclou dins l'àmbit de l'especialitat d'Electrònica Industrial i Automàtica, ja que es tracta d'una automatització d'un procés real, el qual ens podríem trobar al llarg de la nostra carrera professional.

Principalment, aquest treball servirà per a posar en pràctica els conceptes que s'han après durant la carrera i per a orientar-se professionalment cap al sector de l'automatització, que és el sector que em crida més l'atenció.

Així doncs, es decideix automatitzar un procés de producció de bioetanol, i tot i que no es disposa d'una planta real, aquest es simularà per a poder aconseguir les condicions reals d'una planta de producció de bioetanol. Aquesta automatització es realitzarà a partir de la programació d'un PLC i de la confecció de les pantalles HMI per a visualitzar el comportament del procés a temps real a la mateixa planta.

## 1.2. Motivació

La motivació per a aquest projecte és la d'aprofundir en els conceptes i el món de l'automàtica, la programació de PLC's, desenvolupament d'interfícies Home-Màquina i comunicacions industrials.

Alhora, ja que actualment estic treballant com a tècnic a una empresa de distribució de material elèctric i electrònic, sobretot enfocada a l'automàtica, i per a poder oferir un millor servei i implicar-me de forma activa, he decidit realitzar aquest projecte. Així, a poc a poc seré capaç d'oferir solucions adaptades a cada client i a cada necessitat dels mateixos de qualitat i rigor.

Per això, la meua motivació a l'hora de realitzar el projecte és la d'afavorir la carrera professional que estic encaminant cap a l'automatització industrial i cap a ser un tècnic especialitzat en l'automatització processos industrials.



## 2. Introducció

### 2.1. Objectius del treball

L'objectiu principal del treball és crear un procés automàtic per a una planta de producció de bioetanol que sigui capaç de produir una gran quantitat d'aquest producte i fer-ho de manera correcta i respectant el medi ambient.

A causa de l'alta contaminació que comporta l'ús de la gasolina i el dièsel, es proposa augmentar la producció de bioetanol i amb això potenciar el seu ús en comptes dels combustibles convencionals per a reduir les emissions de diòxid de carboni a l'atmosfera i preservar el medi natural.

A més es proposa produir el bioetanol a partir d'un procés sense generació de residus i el qual els productes sobrants es puguin reciclar i reutilitzar en altres àmbits. A partir de la producció de la manera responsable i de la conscienciació amb la contaminació del medi ambient, els països d'arreu del món haurien d'optar per a tècniques de producció com la que s'intentarà dur a terme a aquest treball.

### 2.2. Abast del treball

Per a definir l'abast del treball, es realitza un estudi del procés a realitzar, respecte a les etapes i elements que el formen i de la complexitat d'aquests.

Les diferents etapes del procés són l'entrada i emmagatzematge dels productes necessaris, la mescla, cocció i líquüefacció dels productes que es duen a terme a un tanc d'agitació, la sacarificació i fermentació que es duen a terme a un altre tanc d'agitació diferent, la destil·lació i deshidratació de l'etanol, i finalment, la disposició del producte en lots i la seva distribució. A més també es porta a terme el tractament del corrent de vinassa i el tractament de recuperació, purificació i emmagatzematge del CO<sub>2</sub> generat.

Ja que hi ha parts del procés que no són les realment importants a l'hora d'automatitzar-lo, es prescindiran d'elles i es realitzarà l'automatització de les etapes fonamentals de la producció de bioetanol. Aquestes etapes són les que es duen a terme al tanc de premescla, la de fermentació i sacarificació que es duu a terme al tanc de fermentació i l'etapa de destil·lació i deshidratació. A part d'aquestes, s'afegeix la gestió del procés en un possible cas d'emergència.

Amb les etapes del procés definides, es procedirà a programar la seva lògica a través d'un controlador lògic programable per a poder simular el comportament de la planta de producció el més semblant possible al procés real i aconseguir una producció considerable.

Per a crear una interfície Home-Màquina adient per a la planta, es programaran i simularan les pantalles amb les quals els operaris seran capaços de visualitzar i controlar el comportament del procés. El disseny d'aquestes es realitzarà seguint l'estàndard ISA 101 i la implementació del programa del PLC es realitzarà seguint l'estàndard IEC-61131.

El software que s'utilitzarà per a automatitzar el procés esmentat serà el Tia Portal (per a la programació de PLC's) i el WinCC (per a la programació de pantalles HMI).



### 3. La bioenergia

#### 3.1. La bioenergia

L'energia és la capacitat de realitzar canvis, presentada de diferents formes, com l'energia tèrmica, l'energia elèctrica i l'energia química, però sempre representant un potencial per causar transformacions, ja siguin naturals o determinades per el ésser humà. L'energia química és la forma d'energia que es genera a través de reaccions químiques en les que tenen lloc canvis de composició, transformant-se els reactius en productes, generalment amb un alliberament de calor.

Un cas particular de l'energia química és la bioenergia, que és un tipus d'energia renovable que es produeix a partir de l'aprofitament de la matèria orgànica i industrial formada en algun procés biològic o mecànic, generalment de les substàncies que constitueixen els éssers vius o les seves restes o residus.

Alguns exemples de fonts de bioenergia serien, la fusta, el carbó vegetal, el biogàs resultant de la descomposició anaeròbica dels residus orgànics, així com els biocombustibles líquids, com el biodièsel i el bioetanol, la bioelectricitat etc. A la taula 1 es descriuen els diferents tipus de biocarburants i les seves aplicacions energètiques més comuns:

**Taula 3.1.** Diferents tipus de biocarburants i les seves aplicacions energètiques.

Biocarburant	Descripció	Ús i aplicacions
<b>Bioetanol</b>	Etanol produït a partir de biomassa o de la fracció biodegradable dels residus per el seu ús com a biocarburant	Utilitzat en motors de gasolina convencionals barrejats fins al 15% amb gasolina. O en motors Flex-fuel com el E85 E-dièsel.
<b>Biodiesel</b>	Produït a partir d'olis vegetals o animals de qualitat similar al gasoil.	Utilitzat en motors dièsel convencionals barrejats amb gasoil convencional o al 100%.
<b>Biogàs</b>	Combustible gasós produït per digestió anaeròbica de la biomassa i/o la fracció biodegradable dels residus.	Purificat fins arribar a la qualitat del gas natural. Ús en motors de gas com a substitut o barrejat amb gas natural

<b>Biometanol</b>	Metanol produït a partir de la biomassa per ser utilitzat com a carburant.	Aplicacions similars al bioetanol.
<b>Bio dimetil èter</b>	Dimetil èter produït a partir de la biomassa, per el seu ús com a carburant.	Indicat per a la substitució del gasoil en els motors de cycle dièsel.
<b>Olis vegetals purs</b>	Olis vegetals obtinguts per processos físics/químics sense modificació química	Ús restringit en motors dièsel adaptats de Tecnologia tipus Elsbett o en motors compatibles.
<b>Bioquerosè</b>	Fracció lleugera procedent de la destil·lació de biodièsel obtingut per transesterificació.	Utilitzat en barreges amb querosè de fins el 20% per motors d'aviació.

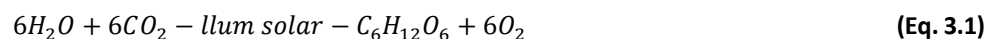
En l'ampli context de la bioenergia, la producció de biocombustibles líquids serveix per atendre particularment a les necessitats del transport. Els biocombustibles líquids es poden utilitzar de manera bastant eficient en els motors de combustió interna que equipen els vehicles de nova fabricació així com els més antics i que es classifiquen bàsicament en dos tipus, depenent de la manera sobre com inicia la combustió. Motors de cycle Otto, amb ignició per guspira per els quals el biocombustible més recomanat és el bioetanol; i motors de cycle Dièsel, en els quals la ignició s'aconsegueix per compressió i que poden utilitzar sense problema el biodièsel. En ambdues situacions, els biocombustibles poden ser utilitzats purs o barrejats amb combustibles convencionals derivats del petroli.

La producció de biocombustibles es troba a la vegada classificada en diferents grups, com són els biocombustibles de primera generació, de segona generació, de tercera generació i de quarta generació, classificació realitzada en base a la matèria prima utilitzada així com la maduresa de les tecnologies de producció i utilització disponibles. A continuació, es detalla cada un dels grups esmentats:

- Biocombustibles de primera generació. El biodièsel procedent de la transesterificació, els olis vegetals, el bioetanol obtingut a partir dels cereals i sucres que es troben en altres productes vegetals i el biogàs pertanyen a aquesta categoria. La producció i ús d'aquests biocarburants ja estan en fase d'aplicació avançada. Els principals marges de millora s'han de buscar a la reducció de costos de producció, la optimització del balanç energètic, la millora dels rendiments energètics dels motors de combustió i l'increment dels percentatges de barreja amb els combustibles fòssils.

- Biocarburants de segona generació. El bioetanol produït a partir de matèries primes lignocel·lulòsiques, el biometanol, el bio-hidrogen. La seva producció encara no es desenvolupa a escala industrial i es limita a plantes experimentals, innovadores i de petita capacitat en comparació amb els projectes de primera generació. Tots els biocombustibles de segona generació tenen en comú el fet d'estar produïts a partir de matèries primeres amb cost nul o molt reduït. Tot i estar encara en fase de millora, les tecnologies de producció de biocarburants de segona generació es consideren molt prometedores pel seu potencial per reduir els costos de producció. Aquests costos representen en l'actualitat una penalització pel que fa a les fonts fòssils convencionals i no permeten desvincular la producció dels biocarburants de les polítiques d'ajuts econòmiques i fiscals actualment existents.
- Biocombustibles de tercera generació. Els biocombustibles de tercera generació utilitzen mètodes de producció similars als de segona generació, però emprant com a matèria primera cultius bioenergètics específicament dissenyats i adaptats (sovint per mitjà de tècniques de biologia molecular) per millorar la conversió de biomassa a biocombustible. Un exemple és el desenvolupament d'arbres "baixos en lignina", que redueixen els costos de pretractament i milloren la producció d'etanol, o el blat de moro amb cel·lulases integrades.
- Biocombustibles de quarta generació. Els biocombustibles de quarta generació porten la tercera generació un pas més enllà. La clau és la captació i emmagatzematge de carboni, tant a nivell de la matèria primera com de la tecnologia de procés. La matèria prima no només s'adapta per millorar l'eficiència de procés, sinó que es dissenya per captar més diòxid de carboni, a mesura que el cultiu creix. Els mètodes de procés també es combinen amb tecnologies de captació i emmagatzematge de carboni que canalitza el diòxid de carboni generat a les formacions geològiques o mitjançant l'emmagatzematge en minerals en forma de carbonats. Es creu que els biocarburants de quarta generació contribueixen a reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle.

La producció de biomassa, com a conseqüència de la reacció de fotosíntesis, depèn essencialment de l'energia solar i de la presència d'aigua i de diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>), i té lloc en les cèl·lules vegetals de les estomes de les fulles, seguint complexos cicles que poden ser representats mitjançant la següent equació.



En aquesta reacció, en termes energètics, la formació de 1 kg de sucre correspon al voltant de 17,6 MJ d'energia solar, equivalent a mig litre de gasolina. Per balanç de massa de la reacció, se sap que la síntesis de 1 kg de glucosa consumeix prop de 0,6 kg d'aigua i 1,4kg de diòxid de carboni, alliberant a la atmosfera 1 kg d'oxigen.

En base a això, es pot afirmar que la condició fonamental per a produir biomassa i per tant, bioenergia es la disponibilitat de radiació solar, aigua i diòxid de carboni.

Entre els factors de producció necessaris per el creixement vegetal, el diòxid de carboni és el menys problemàtic, ja que està ben distribuït en l'atmosfera, en concentracions suficients per a les plantes. Però, és rellevant observar com la concentració d'aquest gas ha incrementat en els últims anys, un creixement principalment associat al ús de combustibles fòssils. La concentració de diòxid de carboni en l'atmosfera és tal que és capaç d'incrementar l'efecte hivernacle a l'atmosfera terrestre i el conseqüent increment de la temperatura mitjana del planeta. En aquest sentit, els biocombustibles presenten dos importants avantatges: el seu ús permet reduir l'emissió de diòxid de carboni a l'atmosfera i, a més, la producció de biomassa es veu potencialment afavorida per la creixent disponibilitat de diòxid de carboni a l'atmosfera.

A més dels factors ja esmentats, altres requisits importants per a la producció de bionergia són la fertilitat del sòl així com la topografia.

Generalment, els cultius bioenergètics precisen de fertilitzants químics per aconseguir nivells adequats de productivitat, el manteniment depèn a més de l'adequat maneig dels sòls, especialment la mecanització en les operacions agrícoles. En relació amb la topografia, la inclinació de les àrees de cultiu no ha de ser molt gran, per reduir la incidència de processos erosius, principalment en els cultius de cicle anual, així com per facilitar operacions de cultiu i collita de la biomassa.

Finalment, a la següent figura podem observar les diferents vies de conversió que es poden aplicar per transformar la biomassa en biocombustibles i calor útil.

### 3.2. L'etanol com a combustible

L'etanol, o alcohol etílic, és una substància amb formula molecular  $C_2H_6O$ , que pot ser utilitzada com a combustible en motors de combustió interna amb ignició per guspira (cicle Otto) de dos maneres: una primera mitjançant el seu ús en barreges de gasolina i etanol anhidre i una segona com a etanol pur, generalment anhidre.

A la taula següent es mostra una comparativa entre les principals propietats de la gasolina comú i del etanol anhidre com a combustible. Per a la elaboració de la taula s'ha utilitzat la legislació en vigor a Espanya, Real Decret 1088/2010 del 3 de setembre, publicat en el BOE número 215.

**Taula 3.2.** Propietats principals de la gasolina i l'etanol.

Paràmetre	Unitat	Gasolina	Etanol
<b>Poder calorífic inferior</b>	kJ/kg kJ/litre	43.500 32.180	28.225 22.350
<b>Densitat a 15°C</b>	kg/litre	0,72-0,75	0,792
<b>Octanatje RON</b>	-	95	10-130
<b>Octanatje MON</b>	-	85	89-96
<b>Calso latent de vaporització</b>	kJ/litre	330-400	842-930
<b>Relació aire/combustible estequiomètrica</b>	-	14,5	9,0
<b>Pressió de vapor</b>	kPa	Estiu: 45-60 Hivern: 50-80	15-17
<b>Temperatura d'ignició</b>	°C	220	420
<b>Solubilitat en aigua</b>	% Volum	0	100

A nivell mundial, el país més avançat respecte l'ús dels biocombustibles com alternativa davant l'ús dels combustibles derivats del petroli és Brasil. En aquest país, des de fa varies dècades, els únics combustibles disponibles a les gasolineres per els motors de ignició per guspira són:

- Gasolines regular i Premium, amb octanatge mitjà mínim de 87 i 91, respectivament, ambdues amb una concentració d'etanol anhidre d'entre el 20 i el 25%, d'acord a la normativa en vigor al país.
- Etanol anhidre, amb un octanatge mitjà superior a 110, utilitzat en vehicles adaptats per a tal ús, ja sigui mitjançant l'ús de motors específics que permetin a la vegada l'ús d'etanol anhidre com a combustible o l'exemple de gasolines amb percentatges d'etanol anhidre entre el 20 i el 25%.

L'etanol hidratat pur ha de ser usat en motors fabricats o adaptats específicament per aquesta finalitat, en particular adoptant índexs de compressió més elevats, buscant utilitzar adequadament el octanatge més alt de l'etanol enfront de la gasolina i obtenir guanys d'eficiència en voltant del 10%. En altres paraules, el major octanatge de l'etanol permet que els motors obtinguin més energia útil de la calor

del combustible en comparació amb la que s'aconsegueix obtenir a partir de la gasolina provinent del cru. S'han d'efectuar altres canvis en el sistema d'alimentació de combustible i en la ignició, a fi de compensar les diferències en la relació aire-combustible, així com en altres propietats. A més, han de realitzar canvis en els materials en contacte amb el combustible, com pel que fa al tractament anticorrosiu de les superfícies metàl·liques dels dipòsits de combustible, filtre i bombes, així com la substitució de canonades per altres de material més compatible amb l'etanol anhidre.

A Espanya es pot trobar la gama següent de combustibles a les gasolineres:

- Gasolina sense plom de 95 octans, és el tipus de combustible més utilitzat entre els vehicles que disposen de motors d'ignició per guspira.

A més, certes gasolineres que pertanyen a les grans distribuïdores de combustibles en el país, disposen d'una major gamma de combustibles, com els següents:

- Gasolina sense plom de 95 octans, amb formula millorada per un millor rendiment i protecció del motor.
- Gasolina sense plom de 98 octans, amb major preu de venda al públic que la gasolina sense plom de 95 octans, però presenta un major rendiment i un millor funcionament en la majoria de motors que utilitzen la gasolina com a combustible.

En el cas d'Espanya, les gasolineres que ofereixen un sortidor de bioetanol són molt escasses a dia d'avui. En base a la informació disponible a la web "*Geoportal*" del Ministeri d'Indústria, Energia i Turisme del Govern d'Espanya, existeixen les següents estacions de servei per a venda al públic:

- Galicia: una a la província de Santiago de Compostela.
- Astúries: una a la província d'Oviedo.
- País Vasc: una a Bilbao i una altra a San Sebastián.
- Navarra: una a la província de Pamplona.
- Catalunya: una a la província de Barcelona.
- Comunitat Valenciana: una a la província de València.
- Comunitat de Madrid: una a Madrid.

A la resta de comunitats autònomes no existeix cap registre de gasolineres de venda al públic que disposin entre la seva gamma de productes, bioetanol. Per tant, es dedueix que encara queda molt camí per recórrer a Espanya com per a poder utilitzar el bioetanol com a combustible en els vehicles de motors de cicle Otto sense anar barrejant amb combustibles d'origen fòssil.

Les característiques del bioetanol que es posen a disposició del públic per al seu consum es troben recollides a la norma UNE-EN 15376. En aquesta norma, es determinen quines han de ser les

especificacions que ha de satisfer l'etanol perquè aquest pugui ésser utilitzat sense problemes en els motors adaptats. A la següent taula es mostren les principals especificacions del bioetanol:

**Taula 3.3.** Especificacions del bioetanol. Norma UNE-EN 15376.

Paràmetre	Unitat	Límit mínim	Límit màxim
Contingut etanol + alcohols superiors saturats	% (m/m)	98,7	-
Contingut en mono alcohols saturats superiors (C3-C5)	% (m/m)	-	2,0
Contingut en metanol	% (m/m)	-	1,0
Contingut en aigua	% (m/m)	-	0,30
Acidesa total (expressada com a àcid acètic)	% (m/m)	-	0,007
Conductivitat elèctrica	$\mu\text{S/cm}$	-	2,5
Aspecte		Transparent i incolor	
Contingut en clorur inorgànic	mg/kg		
Contingut en sulfats	mg/kg	-	6,0
Contingut en coure	mg/kg	-	0,10
Contingut en fòsfor	mg/l	-	0,15
Contingut en matèria no volàtil	mg/10ml	-	10
Contingut en sofre	mg/kg	-	10

A més al Real Decret 1088/2010, del 3 de setembre, s'estableix que:

- En el cas de gasolines amb més d'un 5% en volum de bioetanol i més d'un 2,7% en massa i oxigen s'haurà d'informar al consumidor amb el següent anunci: "Abans d'utilitzar aquest producte asseguri's de que és apte per al seu motor".

- En el cas de gasolines amb més del 10% en volum de bioetanol s'haurà d'indicar el percentatge de bioetanol que conté juntament amb el següent anunci: "Abans d'utilitzar aquest producte asseguri's de que és apte per al seu motor".

En els sortidors de venda al públic, s'utilitzen indicacions del tipus E10, al objecte per indicar que la gasolina que es consumirà té un 10% en volum de bioetanol. A la figura següent es mostra un exemple.



**Figura 3.2.** Exemple d'indicació del percentatge d'etanol en sortidors.

### 3.2.1. Producció mundial d'etanol

Els principals productors i consumidors d'etanol anhidre com a combustible són Estats Units i Brasil. L'estàndard de combustibles renovables (RFS2) als Estats Units ha marcat un creixement dels combustibles en aquesta última dècada, igual que l'augment del parc de vehicles amb motors Flex-fuel, motors dissenyats per poder usar de forma indiferent etanol anhidre com combustible o bé gasolina de petroli), al Brasil.

La producció de bioetanol o etanol obtingut del blat de moro als Estats Units (primer país productor del món), juntament amb la producció obtinguda a base de canya de sucre a Brasil (segon país productor del món), constitueixen el 88% de la producció mundial. Els millors rendiments de la canya de sucre en comparació amb els cereals, com el blat de moro, fa que el bioetanol obtingut a partir de la canya de sucre sigui més competitiu pels seus baixos costos, en comparació amb el bioetanol obtingut a partir de cereals.



### 3.2.2. Producció i consum d'etanol a la Unió Europea

La Unió Europea consumeix el 25% de bioetanol i el 75% de biodièsel, tot i que el consum de bioetanol és inferior al de biodièsel, representa un paper important, ocupa el tercer lloc després de EE.UU i Brasil. La producció i el consum de bioetanol a la Unió Europea, s'ha anat potenciant progressivament, adoptant-se mesures per tal d'incrementar el seu creixement, en vies de complir els objectius imposats per salvaguardar el medi ambient, mitjançant la utilització d'energies renovables en substitució dels combustibles d'origen fòssil, a fi d'una reducció de les emissions de gasos contaminants a l'atmosfera.

Un dels principals impulsos soferts pel consum d'etanol a la UE el va aportar la Directiva sobre Energies Renovables 2009/28 / CE (DER) en vigor des de 2011, la qual també és coneguda com a Directiva 20/20/20, recull els següents objectius:

- Reducció del 20% de les emissions de gasos d'efecte hivernacle per a l'any 2020 respecte al 1990.
- Millorar el 20% en l'eficiència energètica amb relació a les previsions per al 2020.
- Estableix una quota del 20% d'energies renovables en el còmput total d'energies de la UE, amb l'objectiu mínim que el 10% d'aquesta quota de consum d'energia, es s'apliqui al transport en cada Estat membre de la UE.

Posteriorment, al 2015, es va modificar la Directiva anteriorment mencionada, entrant en vigor la Directiva 2015/1515 que estableix les següents directrius:

- La limitació al 7% de la contribució dels biocarburants convencionals al 2020.
- L'obligació dels Estats membres d'establir objectius nacionals indicatius de biocarburants avançats per al 2020, amb un objectiu de referència del 0,5% que els Estats podran reduir per raons objectives.
- La obligació dels subministradors de carburants d'incloure els valors mitjans estimats provisionals de ILUC (*Indirect Land Use Change*) dels biocarburants que comercialitzin entre la informació que han de remetre anualment als Estats membres.
- Increment del límit de reducció mínim de les emissions de gasos d'efecte hivernacle -GEH- aplicable als biocarburants i biolíquids produïts en instal·lacions noves (la reducció d'emissions de GEH serà d'un 60% com a mínim en instal·lacions operatives a partir del 5 d'octubre de 2016; per a instal·lacions anteriors la reducció serà d'un 35% com a mínim fins al 31 de desembre de 2017, i del 50% com a mínim a partir l'1 de gener de 2018).

La capacitat de les instal·lacions a la UE és de 7.480 milions de litres a les 67 plantes distribuïdes en tota la UE. França amb 14 plantes té una capacitat de 1.855 milions de litres, seguida d'Alemanya amb 9 plantes i 1.154 milions de litres.

Altres Estats membres grans productors de bioetanol són: Polònia amb 9 plantes i 681 milions de litres de capacitat, Espanya amb 5 plantes i 559 milions de litres de capacitat, Països Baixos amb 2 plantes i 515 milions de capacitat, Bèlgica amb 3 plantes i 480 milions de litres de capacitat i el R. Unit amb 2 plantes i una capacitat de 470 milions de litres.

Pel que fa a Espanya, de les 5 plantes, tres utilitzen cereals per a l'obtenció de bioetanol, 1 utilitza alcohol etílic dels residus de la indústria del vi i dels cítrics, i l'altra, de més recent construcció, obté etanol de segona generació a partir de la palla de blat i d'ordi principalment. La producció mitjana d'etanol a Espanya, s'obté del 95% de cereals i el 5% de l'alcohol etílic de vins. El blat de moro predomina respecte a la resta de cereals.

**Taula 3.4.** Producció i capacitat de producció de bioetanol a Espanya (extreta del informe del USDA FAS).

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Producció (1.000 m<sup>3</sup>)</b>	470	464	381	442	455	494	328	280
<b>Capacitat de producció (1.000 m<sup>3</sup>)</b>	588	588	588	588	588	494	494	494
<b>Ús de la capacitat (%)</b>	80	79	65	75	77	100	66	57

El 2016, com a conseqüència del resultat incert de l'anunci d'Abengoa de vendre les seves unitats de negoci de primera generació i el fet que la planta de Babilafuente havia estat parada des de març de 2016 a causa dels escassos marges de benefici, la producció de bioetanol es va contreure.

**Taula 3.5.** Consum de combustible convencional i de bioetanol a Espanya (extreta del informe del USDA FAS).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Gasolina (1.000 m<sup>3</sup>)</b>	8.059	7.610	7.104	6.599	6.249	6.196	6.240	6.382	6.445
<b>Bioetanol (1.000 m<sup>3</sup>)</b>	299	468	445	396	337	371	375	253	265

## 4. Anàlisi del Procés

### 4.1. Descripció del Procés a Automatitzar

El procés de producció d'etanol a partir de blat de moro comença amb la recepció del cereal a les instal·lacions i el seu emmagatzematge en sitges dissenyades per a tal finalitat. S'ha d'indicar que el projecte s'inicia suposant que el gra de blat de moro que es rep a les instal·lacions de la planta de producció ha estat pretractat adequadament per a la finalitat que se li atorgarà. El gra de blat de moro arribarà a les instal·lacions per carretera mitjançant camions.

El gra és descarregat en una fossa allotjada sota el nivell de la rasant, i mitjançant un sistema de transport compost per un transportador de cargols sense fi juntament d'un transportador de cadenes, el gra és portat fins a un sistema d'emmagatzematge compost per sitges situades a la zona d'emmagatzematge del gra.

Des de les sitges d'emmagatzematge, el gra surt fins al conjunt de sitges pulmó en els que s'emmagatzema la capacitat suficient de gra com per satisfer el cereal necessari per una jornada de producció, considerant aquesta com una jornada de 24 hores. Des de les sitges pulmó, el gra es dirigeix fins al sistema de mòlta, el qual es troba dotat amb un sistema de molins de martells amb recirculació, que tenen com a objectiu dur a terme la mòlta del gra fins a obtenir la granulometria òptima del cereal per a maximitzar la producció d'etanol. Aquesta mida es troba, al voltant dels 0,5 - 2 mm amb el que es podria arribar a obtenir uns 0,42 litres d'etanol anhidre per kg de blat de moro processat.

Una vegada el gra ha estat mòlt, aquest es condueix mitjançant un sistema de transport apropiat fins a un tanc en el qual s'introdueix el blat de moro mòlt juntament amb aigua. A continuació, es procedirà a elevar la temperatura mitjançant un sistema d'injecció directa de vapor a l'interior del tanc per dur a terme la cocció del gra amb l'objectiu de facilitar l'alliberació del midó que conté el gra.

Després de la cocció, la mescla és conduïda a un intercanviador de calor per disminuir la temperatura de la mescla, la qual posteriorment s'introdueix en un tanc d'agitació en el que es durà a terme el procés de fermentació, considerada l'etapa principal del procés d'obtenció d'etanol a partir de blat de moro. La fermentació té lloc en un tanc d'agitació a una temperatura d'entre 30 i 32 °C aproximadament. Conjuntament a la fermentació, i en el mateix tanc, es duu a terme l'etapa coneguda com a sacarificació i que té com a objectiu convertir els oligosacàrids en glucosa fermentable. En aquesta etapa és molt important controlar el valor del pH de la solució, ja que s'afegirà la quantitat d'àcid sulfúric que s'estimi necessària. S'ha de tenir present que durant l'etapa de fermentació es genera una gran quantitat de CO<sub>2</sub>, per tant, per complir amb la normativa mediambiental en vigor, s'ha

de disposar d'una planta de captura i emmagatzematge d'aquest gas d'efecte hivernacle per al seu posterior aprofitament.

Un cop acabada la fermentació de la mescla, el producte resultant és enviat al sistema de separació, compost per una columna de destil·lació en la que es duu a terme la separació de compostos. Per un costat, s'obté una mescla d'alcohol i aigua i, per l'altre costat, s'obté una mescla composta per aigua i sòlids insolubles, denominada vinassa. A continuació, la corrent composta per alcohol i aigua passa per un intercanviador de calor per baixar la temperatura del producte fins els 36 °C. A continuació, es comprova la concentració del producte i si és la correcta, es condueix el producte per un sistema de deshidratació de l'etanol mitjançant tamisos moleculars.

D'altra banda, la corrent de vinassa també és conduïda fins a un sensor de concentració d'alcohol, si la concentració és menor al límit establert, el corrent s'envia a un assecador per a la producció del subproducte de la planta denominat DDGS que s'utilitza per alimentar el bestiar. Si la concentració en alcohol d'aquest corrent de vinassa és major al límit, es tractarà per poder recircular-lo al procés. Mitjançant un tanc d'ebullició on s'injecta vapor directament per escalfar la mescla, aquesta torna a la columna de destil·lació per a poder ser separada un altre cop.

## 4.2. Química i model del Procés

### 4.2.1. Recepció i emmagatzematge del blat de moro

Com s'ha mencionat anteriorment, l'arribada del blat de moro serà per via terrestre mitjançant camions. Després de passar per l'etapa de preneteja, que es duu a terme a la fossa de recepció del gra de blat de moro mitjançant una reixa que impedeix el pas a les pedres que podrien acompanyar el gra. El blat de moro és conduït a partir de cargols sense fi i transportadors de cadena fins al sistema encarregat de repartir el gra entre les diferents sitges que componen el "parc d'emmagatzematge del gra". Aquest parc d'emmagatzematge es troba a la intempèrie i ubicat a les proximitats de la nau de recepció del gra. A més d'aquestes sitges per emmagatzemar el gra, el parc d'emmagatzematge disposa de diverses sitges de menor capacitat anomenades sitges pulmó, amb la capacitat suficient per dur a terme l'operació de la planta durant un dia. Aquestes sitges pulmó, es carregaran a l'inici de cada jornada d'operació procedent de les sitges grans. A la figura 4.1 es mostra un conjunt de sitges per l'emmagatzematge de cereals en una indústria i que conformen el "parc d'emmagatzematge de gra".



**Figura 4.1.** Parc d'emmagatzematge del gra de blat de moro d'una indústria.

Des de la sitja pulmó el gra és transportat a l'etapa de mòlta a partir d'un sistema de transport compost per transportadors de cargols sense fi i transportadors de cadenes.

#### 4.2.2. Mòlta

La primera etapa el procés de producció d'etanol és la mòlta. La mòlta és una etapa que té com a finalitat adaptar la granulometria del material d'entrada al procés a la granulometria òptima pel procés.

En aquesta planta, l'objectiu de la mòlta és triturar el gra de blat de moro que prové de la sitja pulmó per aconseguir que el gra presenti una granulometria òptima per a la producció d'etanol, ja que amb la trituració del gra s'aconsegueix deixar exposat el midó contingut al gra per augmentar la superfície de contacte amb l'aigua i els enzims que posteriorment s'afegiran per l'etapa de líquüefacció, de manera que teòricament, com més fina sigui la mòlta, més gran serà la superfície d'exposició del midó, i per tant, s'aconseguirà una major producció d'etanol. D'acord amb la informació disponible, la granulometria òptima a la qual ha d'entrar el blat de moro en el tanc de cocció i líquüefacció ha de ser inferior de 3/16" (aproximadament 4,7 mm), entre 0,5 i 2 mm, ja que per aquest valor mitjà es maximitza el rendiment d'obtenció d'etanol, aconseguint una xifra de 0,4247 l etanol / kg blat de moro.

Per a realitzar la mòlta s'utilitza un molí de martell. Aquest, compta amb un conducte per a l'entrada del material sense moldre (procedent d'una tremuja dosificadora connectada amb la sortida de la sitja pulmó) i a més compta amb un altre conducte per a la sortida del material ja mòlt. A més, disposa d'un motor elèctric i d'un rotor a l'interior de la carcassa que gira mogut pel motor anteriorment esmentat.

El rotor disposa d'una sèrie de martells adossats al cos, els quals giren de forma solidària amb l'eix i d'aquesta forma mitjançant l'impacte dels martells amb el gra es produeix el fraccionament d'aquest, fet que propicia la disminució de la granulometria del gra abans d'entrar als tancs de pre-mescla per a l'inici del procés de producció.

Amb l'objectiu de garantir que tot el blat de moro que entrarà al procés de producció posseeix un diàmetre entre 0,5 i 2 mm, es planteja que el sistema de mòlta posseeixi un circuit de recirculació per a aquella fracció de material molt que no compleix amb l'especificació desitjada. De forma més precisa, el blat de moro molt serà transportat mitjançant un sistema de transport pneumàtic fins a un sistema de cribratge en el qual es deixarà passar cap als tancs de pre-mescla a aquella fracció amb un diàmetre de partícula inferior a l'establert com a condició, mentre que aquella fracció que no compleix amb l'especificació torna de nou a entrar al molí per repetir l'operació fins a aconseguir obtenir la granulometria desitjada.

Els molins emprats en el procés productiu són controlats mitjançant variadors electrònics que permeten obtenir la corba granulomètrica requerida, la qual cosa és essencial perquè l'etapa principal del procés, la fermentació, es desenvolupi de la millor manera possible i s'aconsegueixi maximitzar l'obtenció d'etanol per quilogram de blat de moro processat.

Una vegada que el gra ha arribat a la granulometria requerida, és conduït al tanc de pre-mescla, en què el gra triturat es barreja amb aigua mitjançant l'ús d'un sistema d'agitació per pales.

#### **4.2.3. Pre-mescla, cocció i líquüefacció**

Com s'ha indicat, el gra triturat és conduït des de la sortida dels molins amb la granulometria adequada a un tanc en el qual es porta a terme la barreja d'aquesta farina de blat amb una certa quantitat d'aigua. Per poder dur a terme una addició correcta de la quantitat d'aigua i la farina de blat, a la sortida dels molins es disposa d'una tremuja per al pesat de la quantitat de farina que és introduïda en el mesclador. Per saber la quantitat d'aigua que cal afegir a aquesta etapa de pre-mescla, s'utilitza el balanç de matèria realitzat en detall en l'apartat dedicat a l'etapa de fermentació, del que s'extreu que el cabal d'aigua a afegir és de 20,42 m<sup>3</sup>/h. Dels quals 5,51 m<sup>3</sup>/h s'introdueixen en forma de vapor mitjançant la injecció directa de vapor com a mitjà d'escalfament i la resta procedeix de l'aigua recuperada i neutralitzada a la planta de tractament d'aigua. Amb l'addició d'aquest cabal d'aigua s'aconsegueix que el most fermentat a la sortida de l'etapa de fermentació presenti una concentració en etanol al voltant del 10%, que és el valor recollit en la bibliografia disponible.

A més, aquesta etapa de pre-mescla s'ha de dur a terme a una temperatura que oscil·la entre els 40 i els 60 °C. La calefacció de l'etapa de pre-mescla es durà a terme mitjançant la injecció directa de vapor. Es disposa d'una camisa de refrigeració que actua a manera de sistema de refrigeració amb l'objectiu

d'aconseguir un control òptim de la temperatura. La quantitat de calor a retirar vindria expressada per l'Eq. 4.1.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Se suposa que la barreja formada per farina de blat de moro i aigua es troba a temperatura ambient, considerant com a tal 20 °C. A més, el cabal volumètric per hora que ha d'escalfar serà la suma del cabal d'aigua addicionat més el de farina de blat. D'aquesta forma, es té que el caudal màssic serà:

$$14.913,46 \frac{kg}{h} (aigua) + 7.512,28 \frac{kg}{h} (farina de blat) = 22.425,74 \frac{kg}{h} \quad (\text{Eq. 4.2})$$

Prenent la capacitat calorífica de l'aigua, al ser el component majoritari de la mescla, obtenim:

$$Q = 22.425,74 \frac{kg}{h} \cdot 4,18 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (60 - 20)^\circ C = 3.749.583,73 \frac{kJ}{h} \quad (\text{Eq. 4.3})$$

Depenent de si vapor emprat és d'alta o baixa pressió, i la temperatura a la qual aquest sigui subministrat pels serpentins, es determinarà el cabal de vapor requerit per dur a terme el subministrament de calor requerit.

Després de dur a terme la pre-mescla durant uns minuts a la temperatura indicada, la barreja roman a l'interior del mateix recipient en el qual es porta a terme una nova etapa coneguda com a cocció, seguida d'una posterior coneguda com a líquefacció.

Pel que fa a l'etapa de cocció, cal indicar que per norma general aquesta etapa presenta una durada estimada d'entre 30 i 60 min i es desenvolupa a una temperatura que pot oscil·lar entre els 90 i els 120 °C, per a això, es necessitarà portar a terme un increment de la temperatura des dels 60 °C. Això es realitzarà incrementant el flux de vapor injectat a l'interior del reactor.

Per a l'etapa de cocció, la quantitat de calor a subministrar per la injecció de calor serà de:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 22.425,74 \frac{kg}{h} \cdot 4,18 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (120 - 60)^\circ C = 5.624.375,59 \frac{kJ}{h} \quad (\text{Eq. 4.4})$$

Després de la cocció, es porta a terme l'etapa denominada com a líquefacció, la qual transcorre durant un període de temps aproximat que oscil·la entre els 45 i els 90 minuts a una temperatura de 90 °C. Per tant, els serpentins de refrigeració hauran d'evacuar:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 22.425,74 \frac{kg}{h} \cdot 4,18 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (120 - 90)^\circ C = 2.812.187,80 \frac{kJ}{h} \quad (\text{Eq. 4.5})$$

Després de l'etapa de liqüefacció, la barreja serà traslladada fins al tanc en el qual es duran a terme les etapes de sacarificació i fermentació, les quals es duen a terme a una temperatura que oscil·la entre els 30 i els 32 °C, segons s'indica en la bibliografia disponible. A causa d'això, serà necessari dur a terme el refredament des dels 90 °C fins als 30-32 °C als quals es desenvolupa l'etapa de sacarificació i fermentació. Per aconseguir aquest refredament, s'ha de dur a terme l'extracció de la següent quantitat de calor:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 22.425,74 \frac{kg}{h} \cdot 4,18 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (90 - 30)^\circ C = 5.624.375,59 \frac{kJ}{h} \quad (\text{Eq. 4.6})$$

#### 4.2.4. Sacarificació i fermentació

En el reactor de fermentació, considerada l'etapa principal del procés de producció d'etanol, es porta de manera prèvia a la fermentació una etapa que es coneix amb el nom de sacarificació.

L'objectiu de l'etapa de sacarificació és convertir els oligosacàrids resultants de l'etapa prèvia de liqüefacció, en glucosa fermentable a la següent etapa de fermentació.

Com s'ha indicat anteriorment, l'etapa de sacarificació i fermentació es duen a terme de forma simultània en el tanc de fermentació gràcies a l'enzim de sacarificació (amiloglucosidasa o glucoamilasa) les quals són addicionades a l'etapa de sacarificació. L'operació de sacarificació i fermentació es porta a terme a una temperatura que oscil·la entre els 30 i els 32 °C i amb un valor de pH que s'ha de mantindre entre el 3,5 i el 4,5.

La funció de la glucoamilasa és trencar els enllaços romanents alfa (1,4) de les dextrines, així com els enllaços alfa (1,6) de les dextrines de límit alfa. No obstant això, s'ha de saber que aquests enllaços triguen més a hidrolitzar, de manera que afegir una major quantitat de glucoamilasa accelera la hidròlisi. No obstant això, tenen un problema, si la glucosa alliberada es polimeritza, forma isomaltosa, que és un glúcid no fermentable.

Partint de l'anterior, la quantitat de complex enzimàtic que es considera adequada perquè l'etapa de sacarificació es dugui a terme de forma correcta és, segons la bibliografia disponible, de 3 kg/t d'etanol produït, per tant, la quantitat a afegir serà:

$$20.000 \text{ t etanol} \cdot 3 \frac{kg \text{ enzima}}{t \text{ etanol}} = 60.000 \frac{kg}{any} \cdot \frac{1 \text{ any}}{330 \text{ dies}} \cdot \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ h}} = 7,90 \frac{kg}{h} \text{ complex enzimàtic} \quad (\text{Eq. 4.7})$$

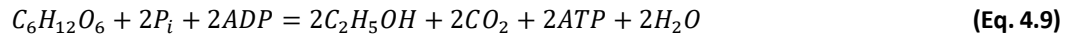
A més, el control del pH a l'etapa es duu a terme mitjançant l'addició d'àcid sulfúric (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). La quantitat d'àcid sulfúric s'estima en 1% en pes d'etanol produït, per tant la quantitat addicionada serà:



$$20.000 \frac{t \text{ etanol}}{\text{any}} \cdot \left( \frac{1}{100} \right) \cdot \frac{1 \text{ any}}{330 \text{ dies}} \cdot \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ h}} = 26,34 \frac{kg}{h} d'H_2SO_4 \quad (\text{Eq. 4.8})$$

L'etapa de fermentació és la principal del procés, i és on es duu a terme la reacció de conversió de la glucosa en etanol, produint-se a més un cert cabal de diòxid de carboni, aigua i ATP.

L'equació de la reacció és la següent:



A partir d'aquesta, es duu a terme la realització del balanç de matèria, considerant que el blat de moro aportat al procés conté un 70% de contingut fermentable, i per tant, aprofitable en el procés de producció d'etanol. Mentre que el 30% restant no és fermentable, tractant-se per tant, com un inert en el procés. A més, es considera que la reacció, com tota reacció química, no té un rendiment del 100%, sinó que s'ha suposat que la reacció opera amb un rendiment al voltant del 98%.

Considerant això, s'arriba als següents resultats:

- Glucosa alimentada:

$$7.512,28 \cdot 0,7 = 5.258,59 \frac{kg}{h} \text{ glucosa} = 28,63 \frac{kmol}{h} \text{ glucosa} \quad (\text{Eq. 4.10})$$

- Inerts alimentats:

$$7.512,28 \cdot 0,3 = 2.253,68 \frac{kg}{h} \text{ inerts} \quad (\text{Eq. 4.11})$$

- Etanol format:

$$28,63 \frac{kmol}{h} \cdot 2 \cdot \frac{46 \text{ kg}}{1 \text{ kmol}} = 2.633,97 \frac{kg}{h} \text{ etanol} \quad (\text{Eq. 4.12})$$

- CO<sub>2</sub> format:

$$28,63 \frac{kmol}{h} \cdot 2 \cdot \frac{44 \text{ kg}}{1 \text{ kmol}} = 2.519,45 \frac{kg}{h} \text{ de } CO_2 \quad (\text{Eq. 4.13})$$

- Inerts formats:

$$Inerts \text{ formats} = Inerts \text{ alimentats} = 2.253,68 \frac{kg}{h} \text{ inerts} \quad (\text{Eq. 4.14})$$

- H<sub>2</sub>O formada:

$$28,63 \frac{kmol}{h} \cdot 2 \cdot \frac{18 \text{ kg}}{1 \text{ kmol}} = 1.030,68 \frac{kg}{h} \text{ H}_2\text{O} \quad (\text{Eq. 4.15})$$

Com s'ha indicat en la descripció d'etapes anteriors, a l'etapa de pre-mescla s'ha d'afegir una certa quantitat d'aigua, el volum es fa coincidir amb el volum d'aigua que cal per aconseguir que la concentració d'etanol a la solució fermentada estigui al voltant d'un 10%. Amb aquest objectiu, es determina que la quantitat d'aigua que cal afegir és de 20,42 m<sup>3</sup>/h, quantitat addicionada a l'etapa de pre-mescla del procés de producció.

La reacció que té lloc a l'etapa de fermentació desprèn una certa quantitat de calor, per tant, per poder mantenir la temperatura d'entre 30 i 32 °C al tanc de fermentació, s'hauria d'extreure part d'aquesta quantitat de calor generada. Segons la bibliografia disponible, aquesta quantitat és d'1,022 kJ/t d'etanol produït. Per això, i tenint present que aquesta quantitat de calor alliberada es produeix durant les últimes 20 h del procés de fermentació, s'estima que la quantitat de calor que s'ha d'evacuar del reactor ha de ser:

$$1,022 \frac{kJ}{t \text{ etanol}} \cdot 13,44 \text{ t etanol} \cdot \frac{1}{20 \text{ h}} = 0,69 \frac{kJ}{h} \quad (\text{Eq. 4.16})$$

Pel que fa al diòxid de carboni produït en el procés de fermentació, aquest no serà emès a l'atmosfera per complir amb la legislació mediambiental europea vigent, de manera que serà tractat i venut com a subproducte.

Pel que fa al llevat que s'ha d'afegir a cada un dels tancs de fermentació, s'estima segons la informació bibliogràfica consultada, que s'han d'addicionar 0,192 kg/m<sup>3</sup> etanol format, per tant, la quantitat de llevat que s'ha d'addicionar serà:

$$\frac{2.633,97 \frac{kg}{h} \text{ etanol}}{791,50 \frac{kg}{m^3}} = 3,33 \frac{m^3}{h} \text{ etanol} \quad (\text{Eq. 4.17})$$

$$Llevat = 3,33 \frac{m^3}{h} \text{ etanol} \cdot 0,192 \frac{kg \text{ llevat}}{m^3 \text{ etanol}} = 0,632 \frac{kg}{h} \text{ llevat} \quad (\text{Eq. 4.18})$$

D'altra banda, tot i que la temperatura òptima de la fermentació està al voltant de 30-32 °C, la òptima per al creixement del llevat és de 28 °C. Això és important, ja que el creixement del llevat ha de mantenir-se el màxim temps possible, a causa que la seva capacitat de produir alcohol és 30 vegades

superior en aquesta fase que a la de maduresa (sense creixement). Això, però, no implica que calgui subministrar tota la glucosa de cop, ja que en aquest cas, un excés pot produir una inhibició en el creixement, per tant, aquesta ha de subministrar-se de forma dosificada. Un augment de temperatura causa estrès en el llevat, si aquesta se situa per sobre dels 35 °C.

Durant la fermentació, uns increments de temperatura de 6-8 °C són una cosa normal, per tant, és important la regulació de la calor produïda, per això, és de vital importància l'ús d'un equip de transferència de calor apropiat per al control de la temperatura.

La contaminació per bacteris *Lactobacils* també és un problema, ja que aquestes produeixen àcid làctic en major quantitat a partir de glucosa competint amb el llevat. El nivell més alt d'acidesa, d'altra banda, contribueix al fet que la producció final d'etanol es redueixi en un percentatge que varia entre el 0,1-1,5% en funció de la concentració de bacteris viables. Una bona neteja del tanc després de la fermentació i una fermentació ràpida ajuden a pal·liar aquest problema, encara que el cultiu de llevat mai és veritablement pur, ja que sempre té una mínima contaminació.

#### **4.2.5. Sistema de deshidratació de l'etanol**

##### **Destil·lació azeotròpica**

Es fa servir àmpliament aquesta tecnologia, amb agents com el benzè, el pentà, el ciclohexà i el dietil·èter. Degut al seu alt cost de capital, els seus alts requeriments energètics, la seva gran sensibilitat a impureses en l'alimentació i l'ús de químics tòxics com el benzè, ha causat la seva eliminació en les plantes modernes d'etanol i el seu reemplaçament a les ja existents.

A la figura 4.2 es mostra un esquema de destil·lació azeotròpica per a la deshidratació d'etanol amb benzè o agents similars. El suc fermentat provinent de la fermentació (7-10% d'etanol en pes) és conduït a una columna de destil·lació on es concentra fins a un 93%, aquest destil·lat és després portat a la columna de deshidratació on s'obté al fons, etanol anhidre amb un 99% en pes d'etanol. El producte que surt per dalt, amb una composició propera a la de l'azeòtrop ternari, és condensat en dues fases líquides: la fase orgànica, rica en l'agent separador que es retorna a la torre com reflux, i la fase aquosa, que és decantada i conduïda a una columna de recuperació, on s'obté benzè i la major part de l'etanol restant com destil·lat. Aquests es reciclen a la columna de deshidratació, la qual al seu torn ha de comptar amb un corrent d'alimentació fresc de benzè.

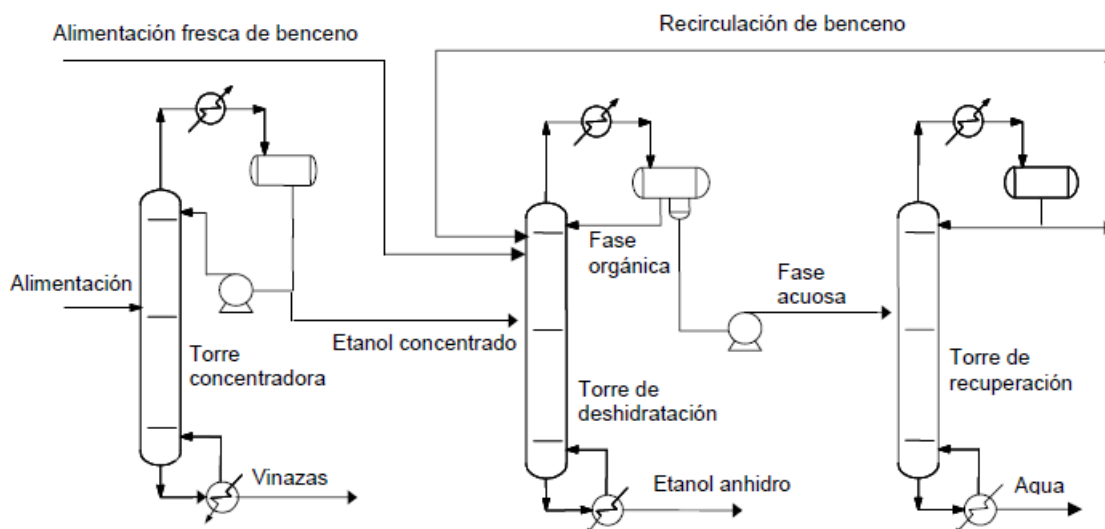
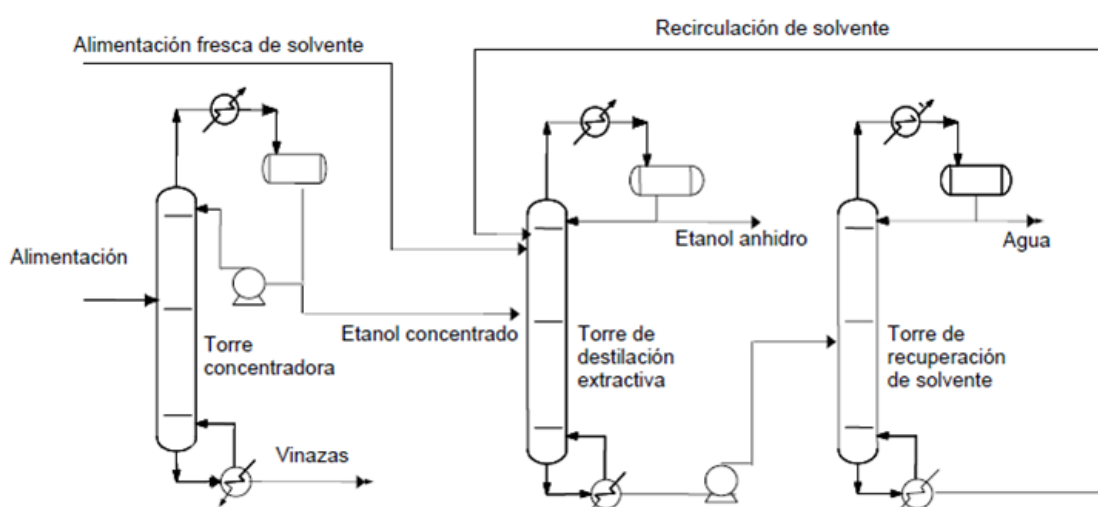


Figura 4.2. Esquema d'un procés de destil·lació azeotròpica.

### Destil·lació extractiva

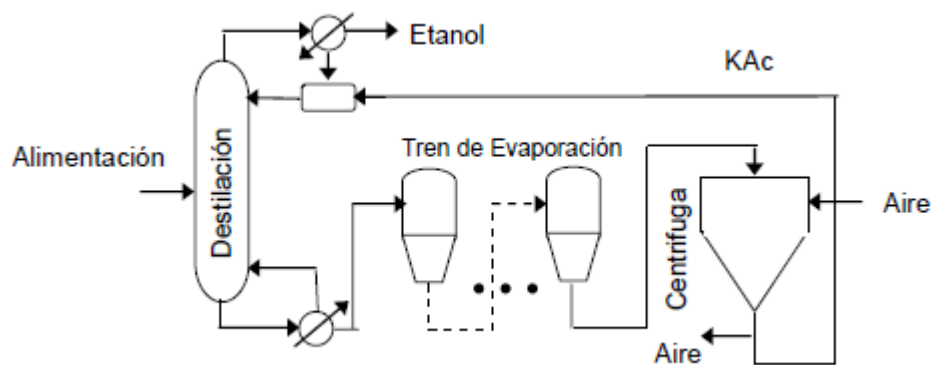
Una de les tècniques usades a la indústria per separar la mescla azeotròpica etanol-aigua és la destil·lació extractiva, que es pot dur a terme amb agents de separació líquids com glicols, glicerol, furfural, etilenglicol i toluè, o agents de separació sòlids com sals solubles.

La destil·lació extractiva convencional amb solvents líquids requereix com a mínim una seqüència de 3 passos, tal com es mostra a la figura 4.3. El primer pas consta d'una destil·lació per portar l'etanol fins a una concentració propera al seu punt azeotròpic, en el segon, es realitza la destil·lació extractiva obtenint etanol anhidre destil·lat i el tercer, comprèn la recuperació del solvent per destil·lació per a poder ser reciclat al procés.



**Figura 4.3.** Esquema d'un procés de destil·lació extractiva.**Destil·lació amb sals**

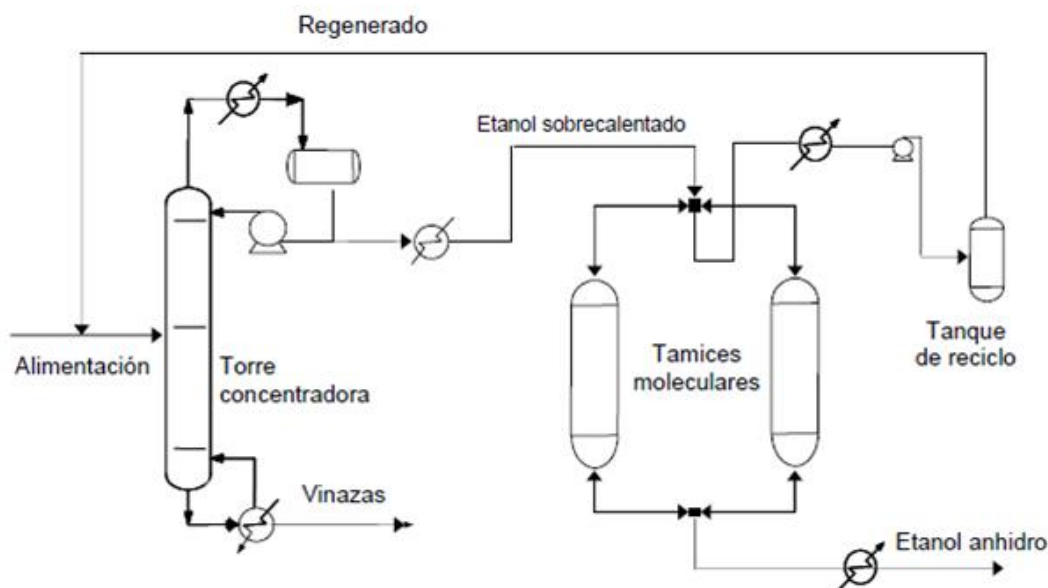
La destil·lació extractiva amb sals és similar a la destil·lació extractiva amb agents líquids; la sal (component no volàtil) és alimentada per dalt de la columna (preferiblement dissolta en el corrent de reflux). Flueix al llarg d'aquesta i és completament remoguda en els fons, fent-se més fort el seu efecte en la secció de rectificació que a la d'esgotament. La sal és posteriorment reconcentrada per ser reciclada al procés, la tècnica de recuperació consisteix generalment en un tren d'evaporadors per concentrar la solució salina i un assecador per completar la purificació de la sal com es mostra a la figura 4.4. Entre les sals estudiades per a la deshidratació d'etanol es troben el clorur de sodi (NaCl), el clorur de potassi (KCl), el clorur de calci ( $\text{CaCl}_2$ ), el iodur de potassi (KI) i l'acetat de potassi.

**Figura 4.4.** Esquema d'un procés de destil·lació amb sals.**Separació mitjançant tamisos moleculars**

Els tamisos moleculars són substàncies granulars, dures, esfèriques o cilíndriques fabricades a partir de materials com ara potassi i aluminosilicats. Es classifiquen d'acord al diàmetre nominal del porus intern, que dona l'accés al volum intersticial lliure que es troba a l'estructura microcristal·lina. Per a la deshidratació d'etanol s'utilitza un tamís Tipus 3Å, el que significa que el diàmetre mitjà dels camins intersticials és de 3 Å, això és degut a que la molècula d'aigua té un diàmetre mitjà menor a aquest valor, mentre que la de l'etanol és més gran. A més, les molècules d'aigua poden ser absorbides sobre la superfície interna dels porus del tamís. Aquestes raons són les que fan útils els tamisos moleculars per a la separació de la mescla etanol-aigua.

Aquest procés pot realitzar-se per a mescles etanol-aigua tant en fase vapor com en fase líquida; en aquesta última es requereix aplicar gas calent per regenerar el tamís desplaçant a l'aigua d'aquest, però, el tamís es deteriora ràpidament (vida mitjana 6 mesos) pel xoc tèrmic. La integració d'aquest

sistema amb la tecnologia PSA (*Pressure Swing, vacuum purge Adsorption*) consta de dos tancs de deshidratació, mentre un opera a pressió produint etanol anhidre, l'altre és regenerat amb el reciclatge d'una porció d'etanol anhidre sobreescalfat i pressions de buit, tal com es mostra a la figura 4.5; d'aquesta manera el temps de vida mitjà es perllonga a diversos anys.



**Figura 4.5** Esquema d'un procés de separació mitjançant tamisos moleculars.

### Destil·lació al buit

Per sota dels 6 kPa l'azeòtrop aigua-etanol desapareix i la separació dels components es fa teòricament possible. El sistema per obtenir etanol anhidre per destil·lació al buit consta de dues columnes consecutives, en la primera s'alimenta la solució diluïda per portar-la fins a una composició propera a l'azeotròpica, el producte d'aquesta columna és portat a la segona, que opera al buit, per deshidratar l'etanol i obtenir una composició per sobre del 99% en volum. Per obtenir un producte d'alta puresa és necessari utilitzar columnes de deshidratació amb un gran nombre d'etapes (per sobre de 40) i amb altes relacions de reflux, obtenint així elevats consums energètics i alts costos de capital. A la figura 4.6 es presenta un diagrama esquemàtic del procés.

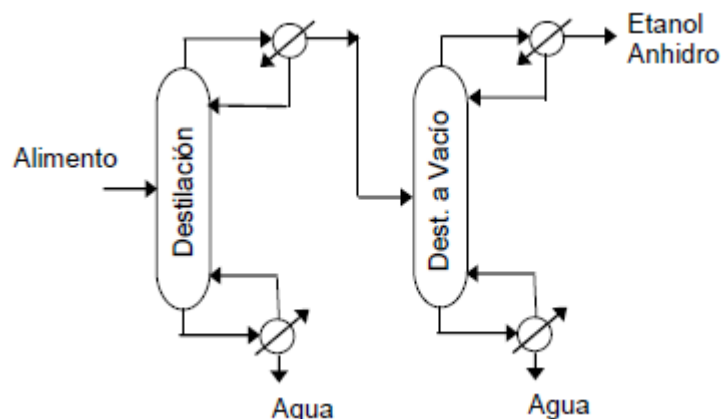


Figura 4.6 Esquema d'un procés de destil·lació al buit.

A més de tot l'anterior, a l'hora de dur a terme la selecció del mètode de deshidratació l'etanol més apropiat, també s'ha de tenir present el consum energètic de cada un dels possibles mètodes de deshidratació disponibles. D'acord amb la bibliografia consultada, s'aprecia com el consum energètic del sistema de deshidratació mitjançant la tècnica dels tamisos moleculars presenta un consum estimat al voltant de 2 kg vapor/litre etanol produït, mentre que mètodes tradicionals com la destil·lació azeotròpica o extractiva presenten consums de vapor al voltant dels 4 kg vapor / litre etanol produït.

Basant-se en l'anterior, i pel fet que el procés amb un menor cost energètic així com amb un major rendiment operacional és el sistema de deshidratació mitjançant tamisos moleculars, es decideix fer ús d'aquest mètode per dur a terme la deshidratació de l'etanol per a l'obtenció del producte desitjat, etanol anhidre.

#### 4.2.6. Tractament de recuperació, purificació i emmagatzematge del CO<sub>2</sub> generat a la fermentació

Com s'ha descrit anteriorment en els diversos apartats del procés de producció d'etanol utilitzant com a matèria primera el blat de moro, i especialment en l'apartat dedicat a la descripció de l'etapa de fermentació, la glucosa es transforma principalment en etanol així com en diòxid de carboni, sent considerable la quantitat produïda d'aquest gas d'efecte hivernacle.

Com a conseqüència de les polítiques de protecció mediambiental dutes a terme en la major part dels països del planeta amb l'objecte de reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle com el CO<sub>2</sub>, s'han establert legislacions que condueixen a una considerable reducció de les emissions de CO<sub>2</sub> per als anys vinents. És per això pel que el disseny de la instal·lació es realitza considerant que l'emissió d'aquest gas ha de ser la més reduïda possible per ajustar-se tant a la legislació actual com a la futura que pugués desenvolupar-se.

Segons l'anterior, s'ha d'indicar que el  $\text{CO}_2$  produït en el reactor de fermentació és evacuat del mateix per un conducte de ventilació. El  $\text{CO}_2$  és conduït cap a un primer tractament que consisteix en una rentada amb aigua a fi de recuperar l'etanol que el  $\text{CO}_2$  ha arrossegat, i que sol trobar-se de mitjana entre un 1-2% del cabal de  $\text{CO}_2$  produït. Aquest primer tractament es porta a terme en un equip denominat com "columna de rentada", en què el gas entra per la part inferior de la mateixa acompanyat de l'etanol i d'una petita proporció de vapor d'aigua, i surt lliure d'etanol amb una petita quantitat d'humitat cap a una planta en la qual es durà a terme la compressió, purificació, l'assecament i el seu emmagatzematge líquid en recipients adequats per a la seva posterior distribució. A l'interior de la columna de rentada, a la part superior, es troba instal·lat un sistema de dispersió que fa que l'aigua necessària per tractar la corrent de  $\text{CO}_2$  es dispersi en forma de pluja i augmenti així l'eficàcia de la rentada. Cal indicar que per la part inferior de la "columna de rentada" surt un corrent amb un contingut exclusiu d'etanol i aigua, la qual es barreja amb el corrent procedent del fermentador, i ja d'aquí ambdós corrents mesclades passen a la columna de destil·lació.

El sistema de tractament proposat per al  $\text{CO}_2$  és el següent:

- El  $\text{CO}_2$  procedent de la columna de rentada és comprimit amb l'ajuda d'un compressor de dues etapes fins a una pressió al voltant de 24 bars per al tractament del  $\text{CO}_2$  gasós (rentat, purificació, assecat i condensació del  $\text{CO}_2$  gasós).
- Un cop comprimit, el  $\text{CO}_2$  gasós és tractat per eliminar les impureses mitjançant un sistema compost per un llit de carbó activat per a l'eliminació de les males olors seguit d'un llit de gel de sílice per a l'eliminació de la humitat que contingui el corrent gasós de  $\text{CO}_2$ .
- Després d'això, el  $\text{CO}_2$  lliure d'impureses i humitat és líquid a  $-50\text{ }^\circ\text{C}$  en una planta de refrigeració que empra el refrigerant R23. Després de ser líquid, el  $\text{CO}_2$  líquid és conduït amb l'ajuda d'un equip de bombament apropiat fins als tancs d'emmagatzematge de  $\text{CO}_2$  líquid.

#### 4.2.7. Tractament d'efluents, corrent de "vinassa"

Durant el procés de fermentació, es generen una sèrie de residus sòlids no dissolts en el procés, els quals són molt contaminants si són abocats tal qual al medi. A fi de garantir la protecció del medi ambient i garantir la viabilitat de la instal·lació, es decideix portar a terme el tractament d'aquests residus. Per a això, en primer lloc, es porta a terme la separació de l'etanol i de la quantitat més gran d'aigua possible d'aquesta barreja a la primera columna de destil·lació.

Indicar, que d'acord amb la bibliografia disponible, se sol dur a terme l'obtenció de 10-15 litres de vinassa per cada litre d'etanol anhidre produït, és per això que el volum d'aquest corrent residual es considera important.



Una vegada que la vinassa s'ha separat del corrent etanol-aigua, és conduïda cap al sistema de tractament previst per a aquesta línia.

Des del tanc d'emmagatzematge, la vinassa és conduïda a una etapa de decantació, a la qual es pretén aconseguir que la major part dels sòlids de la mescla surtin pel fons, mentre que aquells sòlids encara dissolts en l'aigua s'envien a un sistema d'evaporació.

El corrent de sortida de sòlids pesats de la centrifugadora, anomenat DDG, es barreja amb el corrent de sòlids pesats que abandona l'evaporador, anomenat DDS, que conté tot el material sòlid soluble. El percentatge de sòlids és només d'un 5% de sòlids solubles, i es pot subministrar al bestiar com a substitut de l'aigua. La barreja dels dos corrents conté la totalitat del material sòlid que compon el corrent de vinassa, i es condueixen a un assecador al qual es durà a terme l'eliminació del contingut en aigua que acompanya els sòlids fins a un 10-12%. Que és el contingut d'humitat requerit per poder vendre la vinassa com un subproducte denominat DDGS, el qual és emprat com a material complementari d'alimentació per al bestiar. El complement alimentari DDGS es troba format en un 25% pel corrent de DDS i un 75% pel corrent de DDG. Aquest material, després de l'assecador, es dirigeix a una planta de pel·letització, en la qual s'emmagatzema per a la seva posterior distribució. La producció estimada de DDGS ronda 1/3 dels quilograms de blat de moro alimentat al procés de fermentació.

A l'evaporador, l'aigua que s'ha separat de la barreja de sòlids, es condueix cap a un tanc en què s'emmagatzema tota l'aigua recirculada del procés, en el qual es barreja amb l'aigua procedent de la centrifugació així com amb el corrent de sortida de la columna de rectificació i denominada com "aigua de vinassa".

#### **4.2.8. Tanc d'emergència**

En el possible cas que hi hagués una situació d'emergència en algun dels tancs o en alguna part del procés, tenim un tanc anomenat "tanc d'emergència", on aniran els productes dels tancs en estat d'emergència. Al ser un procés molt precís respecte el temps que cada producte està a cada tanc, la temperatura a la qual s'està executant cada part del procés, la quantitat addicionada de cada producte necessari, etc. És per això, que en donats casos un operari podria necessitar accionar una parada d'emergència i comportaria que la mescla i el producte no servissin a causa d'estar un temps prolongat sense continuar amb el procés de manera normal.

Aquest tanc recollirà els productes dels diferents tancs i seran tractats per a poder ser inserits de nou al procés. En el cas que algun producte hagi estat tan malmès que no es pogués tornar a circular al procés, es portaria a una planta de tractament de productes i residus.

Així doncs, amb aquest sistema de seguretat, tindrem la certesa de què encara que hi hagi algun problema amb algun material electrònic o elèctric de la planta, podrem accionar els botons d'emergència per a parar les diferents parts del procés.

### 4.3. Diagrames P&ID

Els diagrames P&ID (Piping and Instrumentation Diagram) es troben recollits a l'Annex A. Aquests diagrames mostren les etapes del procés que s'han automatitzat. Ja que el procés descrit anteriorment té un abast molt gran i és molt complex d'automatitzar, s'ha reduït alguna etapa secundària del procés, com el tractament d'efluents (corrent de vinassa), el tractament i emmagatzematge del CO<sub>2</sub>, la recepció del blat de moro i la mòlta d'aquest.

Partim doncs al procés que s'ha automatitzat, que el gra ja és mòlt a l'hora d'entrar al tanc de premescla i que tant el tractament del corrent de vinassa com el tractament del CO<sub>2</sub>, no formen part de l'automatització del procés.

Pel fet que hi ha diversos tancs i que el procés sencer no hi cabia a una sola fulla del programa per a realitzar els diagrames P&ID, s'ha dividit el procés en diverses unitats. Essent aquestes les següents:

- Unitat 1: tanc de premescla i el sistema refrigerador.
- Unitat 2: Intercanviador de calor.
- Unitats 3 i 4: tancs de fermentació.
- Unitat 5: columna de destil·lació i tamisos moleculars.
- Unitat 6: tanc d'emergència.

Com que hi haurà moltes canonades d'entrada i sortida a les diverses unitats del P&ID, s'han utilitzat diferents colors per a distingir quines canonades són d'entrada de producte al tanc, quines són de sortida, així com poder diferenciar també, quines canonades són les d'aigua freda provinents del sistema de refrigeració i quines canonades porten aigua calenta en direcció al sistema de refrigeració.

El color negre s'utilitza per a les canonades d'entrada de productes als tancs, el color groc és el que s'utilitza per a les sortides dels productes dels diversos tancs. El color blau indica les canonades que transporten l'aigua freda i finalment, el color vermell les canonades que condueixen aigua calenta.

A les diverses unitats del P&ID també podem observar la disposició de les vàlvules, els motors dels tancs, les bombes i els diferents tipus de transmissors, sensors o indicadors que hi pugui haver per a controlar els tancs.

#### 4.3.1. Unitat 1

A l'annex A.1 es pot trobar la primera part del P&ID, la unitat 1. Com s'ha comentat anteriorment, en aquesta part es pot trobar l'inici del procés, amb el tanc de premescla i el sistema de refrigeració. Aquest sistema refrigera l'aigua que es condueix cap al tanc de premescla, l'intercanviador de calor, els tancs de fermentació i l'intercanviador de calor de l'apartat de destil·lació.

El tanc de premescla, té les següents entrades de productes: l'aigua, el blat de moro ja mòlt i el vapor. Tant l'aigua com el blat de moro mòlt provenen dels seus respectius tancs d'emmagatzematge, i com ja s'ha comentat anteriorment, no es mencionarà la mòlta i la recepció del blat de moro en el procés que s'ha automatitzat. Tanmateix, l'aigua i el blat de moro entren al tanc cadascun d'ells a partir d'una bomba i una electrovàlvula. Aquestes bombes i vàlvules són controlades pel sensor de nivell del tanc.

Respecte a la bomba i la vàlvula d'entrada de vapor, que s'utilitzarà per a escalfar l'interior del tanc, es controlen pel sensor de temperatura ubicat també al propi interior del tanc.

Un altre element del tanc de premescla és el motor que fa girar les pales i permet mesclar els productes de l'interior del tanc per a la bona execució del procés.

Per a la sortida dels productes del tanc de premescla, tenim dues canonades, una sortida que conduirà el producte cap a l'intercanviador de calor, i l'altre que només s'utilitzarà en un possible cas d'emergència i que conduirà el producte cap al propi tanc d'emergència.

La canonada que condueix el producte cap a l'intercanviador, està dotada d'una vàlvula i una bomba, que són controlades a la vegada, pel sensor de nivell del tanc. D'altra banda, la canonada que es dirigeix al tanc d'emergència, està dotada només per una vàlvula, que també és controlada pel sensor de nivell del tanc de premescla.

Per a la camisa de refrigeració del tanc, hi entra l'aigua freda per una canonada dotada d'una bomba i una vàlvula. Aquestes són controlades pel sensor de temperatura. Com a sortida de la camisa hi tenim una canonada també dotada d'una bomba i una vàlvula que condueixen l'aigua calenta fins al sistema refrigerador. Aquestes es controlen també mitjançant el sensor de temperatura del tanc.

#### 4.3.2. Unitat 2

A l'annex A.2 podem veure la figura de la unitat 2. En aquesta unitat es mostra l'intercanviador de calor, és el tanc que refreda el producte que surt del tanc de premescla abans d'entrar als tancs de fermentació perquè el producte entri amb la temperatura adequada per a la fermentació.

Així doncs, aquest intercanviador té com a entrada, una canonada amb el producte provinent del tanc de premescla i està dotada d'una bomba i una vàlvula. Aquestes s'activen a l'activar-se la bomba i la vàlvula de sortida del tanc de premescla. Respecte a la sortida de l'intercanviador, tal com s'ha comentat anteriorment, està formada per una canonada amb una vàlvula i una bomba que condueixen el producte refredat fins a l'entrada dels tancs de fermentació. Aquesta bomba i vàlvula es controlen mitjançant un sensor de temperatura ubicat dins l'intercanviador.

L'intercanviador alhora rep l'aigua freda del refrigerador i entra a partir d'una bomba i una vàlvula. A la vegada, té una sortida per a l'aigua calenta que es condueix cap al refrigerador per una canonada que també està dotada d'una bomba i una vàlvula.

### 4.3.3. Unitat 3

A la unitat 3, equivalent a les figures de l'annex A.3, veurem la disposició dels 10 tancs de fermentació de la planta de producció d'etanol. Aquests tancs són tots totalment idèntics, per tant, s'explicarà la composició de només un d'ells.

Tal com es pot apreciar, els tancs de fermentació tenen més complexitat que els altres tancs de la planta, hi intervenen més productes i més factors, per això s'ha comentat anteriorment que és el procés més important de la planta.

Respecte a les entrades de producte, en tenim 4: el producte provinent de l'intercanviador, el llevat, la glucoamilasa i per últim l'àcid sulfúric. Cada un d'aquests productes prové del seu respectiu tanc d'emmagatzematge, a excepció del producte que prové de l'intercanviador, i dels tancs d'emmagatzematge es condueixen fins als 10 tancs de fermentació. La conducció dels productes fins als tancs es realitza amb una canonada i una bomba i una vàlvula generals per a cada producte. A continuació de la canonada general de cada producte, aquesta es divideix per poder conduir el producte fins als 10 tancs. És per això, que a cada canonada que va a cadascun dels tancs, hi ha instal·lada una vàlvula. D'aquesta manera, el funcionament seria el següent, si està sortint el producte de l'intercanviador i el tanc a emplenar és el número 1, la bomba general de la canonada entre l'intercanviador i els tancs de fermentació començarà a funcionar i s'obriran la vàlvula general i la vàlvula que permet l'entrada al tanc 1, quedant tancades la resta. Això mateix passaria amb els productes que provenen dels seus tancs d'emmagatzematge com serien el llevat, la glucoamilasa i l'àcid sulfúric.

Aquestes vàlvules i bombes d'entrada dels productes venen controlades per els sensors de nivell dels tancs de fermentació, tant les generals com les de cada tanc.

La sortida del producte dels tancs de fermentació, igual que als tancs de premescla, hi tenim dues canonades, una que condueix el producte cap a la columna de destil·lació i l'altre que només s'utilitza en cas d'emergència i condueix el producte cap al tanc d'emergència.

Aquestes canonades de sortida del producte cap a la columna de destil·lació tenen instal·lades una vàlvula i una bomba, aquestes són controlades també per el sensor de nivell del tanc pertinent. D'altra banda, a les canonades de sortida de producte cap al tanc d'emergència, només s'hi ha instal·lat una vàlvula per a cada tanc de fermentació.

En aquesta part del P&ID, també hi trobem els motors que fan girar les pales per barrejar els productes a l'interior del tanc durant el procés de fermentació. Així doncs, per a cada tanc hi ha instal·lat un motor.

Finalment les camises de refrigeració de cada un dels tancs estan formades per una entrada d'aigua freda provinent del sistema de refrigeració i una sortida d'aigua calenta que es conduirà cap al sistema de refrigeració. Aquestes canonades d'entrada i sortida d'aigua de les camises tenen instal·lades una vàlvula i una bomba, que són controlades per al sensor de temperatura ubicat dins el tanc i que tenen com a finalitat controlar la temperatura interior del tanc.

#### **4.3.4. Unitat 4**

En aquesta unitat, que trobem a l'annex A.4, hi tenim el procés de destil·lació de la planta, amb la columna de destil·lació i els tamisos moleculars. El producte que prové de la sortida dels tancs de fermentació entra a la columna de destil·lació a partir d'una canonada dotada d'una bomba i una vàlvula. Aquestes es controlen a partir de les vàlvules i bombes de sortida dels tancs de fermentació, quan alguna és activa s'activen també les de l'entrada de la columna de destil·lació per donar pas al producte.

Una altra entrada a aquesta columna és l'entrada de vapor, que ho fa a partir d'una canonada que ve dotada d'una vàlvula. Aquesta vàlvula s'obre a l'entrar producte a la columna, per a separar l'etanol de l'aigua.

Respecte a les sortides, és més complex que a les altres unitats, ja que no totes les sortides de la columna de destil·lació són de color groc, ja que algunes d'elles es tornen a reciclar a la columna o segueixen fins als tamisos. Una de les sortides de la columna que condueix el producte fora de la unitat és la sortida d'emergència que transporta el producte cap al tanc d'emergència. Aquesta canonada està dotada d'una vàlvula.

L'altra sortida és la del fons de la columna, aquesta és particular, ja que a la canonada de sortida hi ha instal·lat un sensor de concentració en volum d'alcohol que dirigeix el producte cap al tanc d'ebullició

o cap al tanc d'emmagatzematge de la vinassa. La canonada que duu la vinassa al tanc està dotada d'una vàlvula controlada pel mateix sensor de concentració. L'altra canonada té instal·lada una bomba i una vàlvula, controlades pel sensor de concentració i que condueixen el producte fins al tanc d'ebullició. En aquest tanc, a part d'aquesta entrada esmentada, té una entrada de vapor per a escalfar el producte, aquesta canonada està dotada d'una vàlvula que és controlada per un sensor de temperatura dins el tanc d'ebullició.

El producte ja escalfat, surt cap a la columna de destil·lació a partir d'una canonada on hi ha instal·lada una vàlvula i una bomba. Aquestes són controlades pel sensor de temperatura del tanc d'ebullició.

L'última sortida de la columna de destil·lació, és la de dalt de la columna i condueix el producte en forma de vapor cap al condensador. Aquesta canonada està dotada d'una vàlvula i una bomba que es controlen a partir de la vàlvula i la bomba d'entrada a la columna provinent dels tancs de fermentació. En el condensador hi entra a part, l'aigua freda que prové del sistema de refrigeració a partir d'una canonada on hi ha instal·lades una bomba i una vàlvula i en surt una altra canonada que es dirigeix cap al mateix sistema de refrigeració, també dotada d'una bomba i una vàlvula. Aquestes són controlades per un sensor de temperatura ubicat dins el condensador i que mesura la temperatura del producte.

Per últim, a la sortida d'aquest condensador hi trobem una canonada amb una bomba i una vàlvula que condueixen el producte condensat fins a un sensor de concentració de volum d'alcohol. Segons sigui la concentració del producte, aquest es reconduirà cap a la columna de destil·lació o cap als tamisos moleculars. La canonada que porta el producte fins a la columna està dotada d'una vàlvula que és controlada pel mateix sensor de concentració, i la que condueix el producte fins als tamisos està dotada d'una bomba i una vàlvula, també controlades pel sensor de concentració.

Finalment, el producte que entra als tamisos moleculars per la part de dalt, en surt per la part de baix dels mateixos deshidratat i per una canonada dotada d'una bomba i una vàlvula. Aquestes són controlades per la bomba i la vàlvula d'entrada als tamisos. El producte final o etanol, és conduït fins al tanc d'emmagatzematge d'aquest on serà preparat per a transportar-lo i vendre'l als clients.

#### 4.3.5. Unitat 5

Aquesta unitat es mostra a la figura de l'annex A.5 i la unitat on trobem el tanc d'emergència. En aquest tanc hi entren els productes que provenen del tanc de premescla, fermentació i de la columna de destil·lació. Totes aquestes canonades convergeixen fins a quedar una, la qual té instal·lada una vàlvula general d'entrada al tanc. Aquesta és controlada pels diversos accionaments d'emergència. El producte que arriba a aquest tanc es tracta i s'intenta recuperar per reciclar-lo i tornar-lo al procés i el que no pugui ser tractar, com s'ha comentat anteriorment es portarà a una planta d'extracció de residus.

## 4.4. Instrumentació i control

Abans d'entrar al tanc de premescla, els productes passen per cèl·lules de pesatge amb les que es determina el pes introduït de cada un dels components. En primer lloc s'introdueix l'aigua a l'interior del recipient, per tant la canonada que condueix l'aigua fins a l'interior del tanc està dotada d'una vàlvula d'antiretorn i d'una vàlvula d'agulla que permet el pas o no de l'aigua en funció del pes d'aquesta que hi ha a l'interior del recipient. Això es controla mitjançant un controlador de massa.

En el cas del subministrament de la farina de blat de moro, aquesta es transporta fins a l'interior del recipient a través d'un conducte corrugat dotat de vàlvules de guillotina les quals permetran el pas o no de la farina. A més, la vàlvula de guillotina que es troba instal·lada a la connexió entre el tanc i el tub corrugat serveix per aïllar la línia de les elevades pressions que es poden arribar a l'interior del tanc en el cas d'una mala operació o d'una avaria inesperada al sistema d'injecció directa de vapor.

Respecte al sistema de refrigeració amb el que disposa l'equip de premescla, compost per una camisa de refrigeració, el cabal d'aigua refrigerant que circula per la camisa es determina mitjançant un controlador de temperatura encarregat de mesurar la temperatura a l'interior del tanc i de permetre una major o menor obertura de la vàlvula de regulació.

La injecció directa de vapor es troba regulada, de la mateixa manera que el cabal necessari d'aigua de refrigeració, per un controlador de temperatura que mesura la temperatura dins el tanc i determina la necessitat o no d'una major o menor injecció de vapor. El controlador de temperatura actua sobre la vàlvula de regulació disponible a la línia d'injecció de vapor.

Respecte a la velocitat del rotor del sistema d'agitació de l'equip de premescla, un controlador de velocitat és l'encarregat d'ajustar la velocitat del gir del rotor mesurant la velocitat que té l'equip d'agitació en cada moment i prenent les mesures oportunes per a que s'ajusti el valor òptim.

Pel que fa a la vàlvula que possibilita la descàrrega de l'equip de premescla, aquesta rebrà l'ordre d'obertura permetent el pas del fluid des de l'interior del recipient cap a l'aspiració de l'equip d'impulsió una vegada que s'han assolit les condicions òptimes de barreja a l'interior de l'equip.

Pel que fa als mecanismes de seguretat amb què es disposa a l'equip de premescla, l'equip compta amb un mesurador local de pressió amb què es coneix en tot moment la pressió a l'interior del recipient. Quan aquesta pressió s'eleva per sobre d'un valor determinat, el sistema disposa d'un enclavament que actua sobre la vàlvula de regulació de pas de vapor de la línia d'injecció directa de vapor procedint al tancament de la mateixa i per tant impedit el pas de més vapor fins a l'interior de l'equip. En el cas que després d'aquesta primera actuació la pressió continuï incrementant, ja sigui per un mal funcionament de l'enclavament anteriorment descrit o per una fallada a la mateixa vàlvula de

regulació del sistema, es disposa d'un segon enclavament que actua sobre la vàlvula de seguretat del recipient, la qual es troba tarada a una pressió determinada per sobre de la qual procedeix a la seva obertura permetent l'alleujament de pressió de l'interior del recipient fins que aquest torni a assolir el valor de pressió òptim requerit.

La barreja, a la sortida de l'equip de premescla, es condueix com s'ha indicat anteriorment, a l'aspiració de l'equip d'impulsió, dotat d'una bomba centrífuga. Després de la bomba es disposa d'una vàlvula de regulació. A continuació, es disposa d'un conjunt de vàlvules encarregades de la regulació del cabal que circula per la línia d'impulsió. El conjunt de vàlvules està compost per una vàlvula central de control, que és l'encarrega de permetre el pas d'un major o menor cabal en la línia i sobre la qual actua un controlador de cabal, i de dues vàlvules de bola, una a cada costat de la vàlvula de control, amb les que es permet l'aïllament de la vàlvula de control perquè aquesta pugui ser substituïda en cas d'avaría. A més, es disposa d'una línia de bypass dotada amb una vàlvula de regulació per la qual es permetrà el pas del fluid durant el període de temps en què es troba tallada la línia principal per a la substitució o reparació de la vàlvula de control. En cas que el fluid circuli pel bypass, es disposa d'una vàlvula de regulació en el mateix a fi de poder controlar el cabal que circula per aquesta.

Després de l'equip de bombament, la barreja s'introdueix a l'interior d'un intercanviador de carcassa i tubs a fi d'adequar la temperatura de la línia a la temperatura òptima requerida. Pel costat de la carcassa de l'intercanviador de calor es fa circular aigua de refrigeració procedent de la torre de refrigeració. El cabal d'aigua requerit en cada moment s'aconsegueix amb una vàlvula de regulació sobre la qual actua un controlador de temperatura, el qual mesura la temperatura de la línia de barreja a la sortida de l'equip d'intercanvi i determina la necessitat d'una major o menor obertura de la vàlvula de regulació de la línia d'aigua de refrigeració per permetre un major o menor cabal de pas d'aigua.

Després de l'ajust tèrmic, la barreja s'introdueix a l'interior d'un dels tancs de fermentació, el qual compta amb equip d'agitació, ventilació de CO<sub>2</sub>, camisa de refrigeració i equips dosificadors d'àcid sulfúric, glucoamilasa i llevat.

Per a la dosificació correcta de l'àcid sulfúric, de la glucoamilasa i del llevat, igual que en els tancs de premescla, cada equip de dosificació disposa de cèl·lules de pesatge amb les que es determina la massa exacta que es requereix afegir de cada substància i l'obertura d'una vàlvula condueix la barreja a l'interior de l'equip de fermentació requerit.

Pel que fa a la ventilació del CO<sub>2</sub> generat durant l'etapa de fermentació, per a la seva conducció cap a la columna de rentada de la planta de tractament de CO<sub>2</sub>, la línia disposa d'una vàlvula de bola la qual s'obre una vegada s'ha produït la càrrega completa de l'equip, per evitar que l'aire desplaçat per l'ompliment de l'equip s'introdueixi en el circuit de tractament del CO<sub>2</sub> perjudicant greument el posterior tractament d'aquest. L'equip de fermentació disposa al seu torn d'una línia que permet la



reentrada a l'equip de l'aigua de rentada procedent de la torre de rentatge de la planta de tractament de CO<sub>2</sub> composta principalment per aigua i per l'etanol que havia estat arrossegat pel corrent de CO<sub>2</sub>.

Pel que fa a la velocitat de gir de l'agitador, aquest es regula de la mateixa manera a l'exposada per al cas dels tancs de premescla. El mateix passa pel control del cabal d'aigua de refrigeració que es fa circular per l'interior de la camisa de refrigeració.

Una vegada s'assoleixin les condicions òptimes a l'interior de l'equip de fermentació, la vàlvula de bola situada a la part inferior del recipient rep l'ordre d'obertura que permet la sortida de la barreja fermentada des de l'interior del tanc de fermentació fins a l'equip d'impulsió encarregat d'introduir la barreja a la columna de separació.

El sistema de control amb què es troba dotat aquest sistema d'impulsió així com tots amb els quals es compti en el procés disposen del mateix mecanisme de control que el comentat per als tancs de premescla.

L'entrada de l'alimentació a l'interior de la columna de destil·lació es realitza per l'etapa intermèdia de la columna. Per la part superior es produeix la sortida de la barreja etanol, aigua i oli de fusel i per inferior la denominada com "vinassa". El cabal de recirculació del corrent de vinassa es fa passar per un bullidor alimentat de vapor per escalfar el corrent i aconseguir mantenir la temperatura desitjada a la part inferior de la columna. El cabal de vapor requerit en el bullidor es determina mitjançant un controlador de temperatura encarregat de mesurar la temperatura del fons de la columna i actua sobre la vàlvula de regulació disponible a la línia d'alimentació de vapor.

Pel que fa a la part superior de la columna, es disposa d'un condensador el qual empra aigua de refrigeració per al refredament del corrent de vapor. En funció de la temperatura del corrent de condensat a la sortida del condensador, un controlador de temperatura que actua sobre la vàlvula de regulació situada després del condensador i permetrà la major o menor obertura de la vàlvula possibilitant d'aquesta manera el pas d'un major o menor cabal d'aigua a través condensador. Pel que fa a la línia de recirculació, la vàlvula ubicada en la mateixa permetrà el pas del fluid fins a la columna de destil·lació.

El sistema de deshidratació de l'etanol, compost per dos tamisos moleculars, opera de forma alterna, de manera que un dels llits es troba operant mentre que l'altre es troba en tasques de regeneració. Tant durant l'operació de deshidratació com en l'operació de regeneració del tamís, és molt important conèixer en tot moment les condicions de pressió i temperatura a la qual es porta a terme l'operació, és per això pel que es dota cada un dels tamisos moleculars d'un indicador local de pressió i d'un altre de temperatura. A més, tant l'entrada com la sortida del sistema de tamisos moleculars compta amb

una vàlvula de tres vies, la qual permetrà el pas del corrent d'etanol amb aigua cap a un tamís o l'altre en funció de les condicions d'operació en cada moment.

L'etanol deshidratat i denominat com etanol anhidre abandona el sistema de tamisos moleculars cap a un sistema d'ajust de propietats dotat d'una turbina per a l'ajust de la pressió i d'un intercanviador de calor per aconseguir la temperatura desitjada a la línia per a el seu posterior emmagatzematge en els tancs.

Després de l'ajust de les condicions de l'etanol anhidre, aquest és conduït cap a un dels dos tancs d'emmagatzematge disponibles per allotjar l'etanol. Els tancs disposen d'indicadors locals de pressió i temperatura a fi de conèixer en tot moment les condicions en les quals es troba el fluid allotjat a l'interior del tanc. A més, cada un dels tancs disposa d'un indicador local de nivell connectat a una alarma lluminosa que s'activa en detectar un elevat nivell del fluid emmagatzemat a l'interior del tanc. A la sortida de cada un dels tancs es disposa d'una vàlvula de bola que s'obre o tanca en funció de la necessitat de descàrrega d'un tanc o l'altre.

El corrent del fons de la columna de destil·lació, denominada com aigua de vinassa es recircula al fons de la columna després del seu pas per un bullidor per al seu escalfament a fi de mantenir la temperatura desitjada en el fons de la columna de rectificació. La quantitat de vapor demanada pel bullidor del fons de la columna de destil·lació es regula mitjançant un controlador de temperatura que realitza el mesurament de la temperatura del líquid allotjat a la part inferior de la columna de destil·lació i manipula la vàlvula de regulació situada en la línia de vapor després del bullidor per permetre una major o menor obertura de la vàlvula possibilitant el pas d'un major o menor cabal de vapor.

El sistema de control de la torre de refrigeració és simple. A la sortida de la torre de refrigeració es disposa d'un indicador local de temperatura per conèixer en cada moment la temperatura en la línia. L'aigua refredada es condueix mitjançant un equip d'impulsió a la xarxa de distribució d'aigua, la qual compta en cada ramificació d'una vàlvula de bola que s'obre o tanca en funció que es requereixi o no de subministrament d'aigua.

El sistema de control de la caldera es compon principalment d'un indicador de nivell en cada un dels tancs d'emmagatzematge de gasoil C, que en cas de detectar un elevat nivell procedeix al tancament de la vàlvula de bola que es troba a la canonada d'entrada de gasoil al tanc, de manera que s'impedeixi l'accés de més gasoil a l'interior del tanc. A més, a la sortida de la línia de vapor de la caldera disposa d'un indicador local de temperatura i d'un indicador local de pressió. La línia de sortida de vapor es ramifica i a cada una de les ramificacions es disposa d'una vàlvula de bola que s'obre o tanca en funció que els equips requereixin o no de subministrament de vapor en cada moment.

## 4.5. Selecció d'equips

### 4.5.1. Tanc de premescla

El tanc de premescla és el recipients en què es duen a terme les etapes de premescla, cocció i líquüefacció del procés de producció de bioetanol. Aquest tanc es troba ubicat a l'interior de la nau de la planta de procés sota un sostre, compten amb un equip d'agitació que facilita les tasques de barrejat, cocció i líquüefacció. Així com un sistema d'injecció directa de vapor amb el qual es durà a terme l'escalfament de la barreja per aconseguir les temperatures òptimes necessàries en cada etapa del procés i un altre sistema compost per una camisa de refrigeració d'aigua freda amb el qual s'aconsegueix disminuir la temperatura d'operació del recipient per assolir les condicions òptimes de l'etapa de líquüefacció.

Per determinar el volum del tanc de premescla, s'ha tingut present que la quantitat més gran de reactius introduïts en el tanc d'emmagatzematge el formen l'aigua (bé com aigua líquida a pressió i temperatura ambient o bé a través del mecanisme d'injecció directa de vapor per a l'escalfament de la barreja) així com farina de blat de moro mòlt. Tenint present la massa introduïda d'aquests així com la densitat de tots dos, es determina que el volum requerit és d'almenys  $32,74 \text{ m}^3$ . Considerant-se un percentatge de seguretat al voltant del 10% del volum estimat, es procedeix a determinar que el volum de disseny del tanc de mescla prèvia és de  $35,992 \text{ m}^3$ , equivalent a  $36 \text{ m}^3$ .

El tanc de premescla està construït d'acer inoxidable, i el cabal horari que s'ha garantir és de  $32,74 \text{ m}^3/\text{h}$ . S'ha de tenir present el temps de durada de cadascuna de les etapes que es desenvolupen en el tanc, sent els temps a tenir en compte els següents: Premescla = 10 minuts, Cocció = 60 minuts, Líqüefacció = 90 minuts, Ompliment i buidat = 10 minuts, Rentat de l'equip = 10 minuts, en total el procés dut a terme al tanc de premescla és de 180 minuts, equivalents a 3 h. D'acord amb l'anterior, el reactor durà a terme 6 etapes al dia ja que estarà operant les 24 hores al dia.

Les operacions del tanc de premescla seran les següents: el tanc realitzarà 3 operacions de premescla consecutives, tenint en compte que aquestes tindran una durada de 3h cada una. Després de les 3 operacions el tanc parará durant 1 hora per a que s'hi realitzi un manteniment preventiu per garantir l'estat òptim de conservació de l'equip d'agitació.

Per dur a terme la determinació de les dimensions del tanc d'agitació, es procedeix a prendre com a diàmetre del tanc un valor de 2,40 m. De la bibliografia consultada, s'extreu que la relació entre l'alçada de la paret del tanc agitat i el diàmetre d'aquest ha de trobar-se entre el 0,75 i un 1,50 per a cada paleta d'agitació. En el cas que ens ocupa, s'opta per instal·lar 3 pales per tanc, el que dona lloc a que la relació entre l'altura i el diàmetre del tanc agitat hagi de ser de 3,3. Per tant, l'altura del tanc agitat serà de

7,92 m, és a dir, 8,0 m. Per tant, agafant l'altura del tanc de 8 m tindrà un volum de disseny de 36,17 m<sup>3</sup>.

Per a la determinació de les dimensions dels diferents elements interiors que conté el tanc d'agitació, se segueixen les recomanacions indicades al Manual de l'Enginyer Químic, Volum III.

L'altura del líquid a l'interior del tanc és definida per la diferència entre l'altura de la paret del tanc i el producte entre el percentatge de sobre dimensionament i l'alçada de la paret del tanc d'agitació, per tant:

$$h_{liq} = h_t \cdot (1 - 0,1) = 8,0m \cdot 0,9 = 7,20m \quad (\text{Eq. 4.19})$$

L'espai entre el deflector i la paret ve donat per la següent relació:

$$e_1 = \frac{d_t}{24} = \frac{2,4m}{24} = 0,1m \quad (\text{Eq. 4.20})$$

L'amplada radial del deflector ve donat per el següent coeficient:

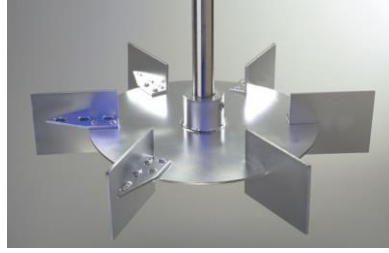
$$e_2 = \frac{d_t}{12} = \frac{2,4m}{12} = 0,2m \quad (\text{Eq. 4.21})$$

El diàmetre de la turbina de l'agitador ve donat per:

$$\frac{d_t}{2} = \frac{2,4m}{2} = 1,2m \quad (\text{Eq. 4.22})$$

Un cop determinades les dimensions exteriors i interiors del tanc d'agitació, es procedeix a consultar diversos catàlegs comercials, en els quals es determina que la velocitat de gir del motor del tanc d'agitació sol ser d'entre 80 i 500 rpm. La turbina radial que s'empra per a la barreja de la farina de blat de moro amb l'aigua és de fulla senzilla amb 6 pales planes i també es troba construïda en acer inoxidable (figura 4.7 ). El motor elèctric de l'agitador requereix una potència màxima de 2,5 kW.

A la figura següent es mostra un esquema del tipus de turbina proposat per agitar la mescla de l'interior del tanc de premescla.



**Figura 4.7** Turbina radial amb pales.

A més de la determinació de les dimensions del tanc d'agitació, cal dur a terme el disseny de la injecció directa de vapor per a l'escalfament de la barreja així com la camisa de refrigeració.

Com s'ha indicat, l'escalfament de la mescla, tant en l'etapa de premescla com en l'etapa de cocció es realitza mitjançant la injecció directa de vapor a l'interior del tanc, per la qual cosa es requereix el coneixement de la pressió i temperatura de subministrament del vapor emprat així com de la calor latent d'aquest.

Tenint present el balanç energètic realitzat en l'apartat corresponent, es determina que la quantitat de calor requerida per incrementar la temperatura de la barreja des dels 20 °C fins als 60 °C és de 1.041,55kW. Tenint present que el vapor emprat en el procés es disposa a 30 bars i una temperatura de 235 °C, sent la calor latent de 1.797,4 kg/h, es requereix una injecció de 2.086,70 kg de vapor en 10 minuts, ja que és el temps estipulat per al desenvolupament d'aquesta primera fase del procés.

Pel que fa al requeriment d'aportació de calor durant la segona etapa que té lloc al reactor, la cocció, segons els càlculs realitzats en l'apartat corresponent es requereix una injecció de 3.421,22 kg de vapor durant l'hora de durada de l'etapa, amb la qual pretén portar la temperatura de la barreja des dels 60°C fins als 120°C.

Pel que fa a la camisa de refrigeració dissenyada per fer disminuir la temperatura de la barreja des dels 120 °C fins als 90 °C, s'ha realitzat el següent balanç d'energia en el tanc, a fi de determinar tant el cabal d'aigua de refrigeració emprada com la temperatura a la sortida d'aquesta.

L'expressió del balanç de matèria en el tanc és la següent:

$$Q = -F_{aigua} \cdot Cp_{aigua} \cdot (T_{aigua,out} - T_{aigua,int}) = F_m \cdot Cp_m \cdot (T_{m,out} - T_{m,int}) = \quad (\text{Eq. 4.23})$$

$$= U \cdot A \cdot (T_{aigua,out} - T_{aigua,int})$$

De la qual s'extreuen les següents expressions:

$$T_{aigua,out} = \frac{\left(\frac{1}{U \cdot A} + \frac{1}{F_m \cdot C_{p,m}}\right) \cdot T_{aigua,out} + \frac{1}{F_{aigua} \cdot C_{p,aigua}} \cdot T_{m,int}}{\frac{1}{F_{aigua} \cdot C_{p,aigua}} + \frac{1}{F_m \cdot C_{p,m}} + \frac{1}{U \cdot A}} \quad (\text{Eq. 4.24})$$

$$T_{m,out} = \frac{\frac{1}{F_m \cdot C_{p,m}} \cdot T_{aigua,int} + \left(\frac{1}{U \cdot A} + \frac{1}{F_{aigua} \cdot C_{p,aigua}}\right) \cdot T_{m,int}}{\frac{1}{F_{aigua} \cdot C_{p,aigua}} + \frac{1}{F_m \cdot C_{p,m}} + \frac{1}{U \cdot A}} \quad (\text{Eq. 4.25})$$

Prenent un cabal de 60.000 kg/h d'aigua en condicions ambientals, és a dir, 1 atm i 20 °C, equivalent a 16,7 kg/s, amb un calor específic de 4,18 kJ/kg·K, i tenint present que la massa de mescla a refredar és de 27.939,99 kg, amb un calor específic agafat de valor idèntic al l'aigua a causa de la falta de dades experimentals disponibles i tenint present que el principal component de la barreja és l'aigua, la temperatura d'entrada és de 120 °C i la temperatura a la sortida un cop refredada és de 90 °C. A més, s'ha de tenir present que el temps disponible per dur a terme la reducció de la temperatura és de 15 minuts, de manera que s'ha de dur a terme l'extracció de calor requerida en el temps disponible per a això.

Tenint present totes les dades anteriorment indicades, i mitjançant la resolució de les equacions anteriorment presentades, es determina que el factor  $1/U \cdot A$  té un valor de  $3,7 \cdot 10^{-6}$ , sent la temperatura de sortida de l'aigua després de l'intercanvi de calor de 75,88 °C.

El càlcul dels gruixos s'ha realitzat segons l'A.S.M.E (*American Society of Mechanical Engineering*) *Boliler and Pressure Vessel Code*, segons s'especifica en la Secció III, Divisió I.

El material que s'ha emprat per a la fabricació, tant de la virolla cilíndrica com del fons serà un acer inoxidable AISI-304. En primer lloc, per dur a terme el càlcul del gruix de la paret de la virolla, cal definir la pressió de disseny i la temperatura de disseny, i fixar un valor per al sobregruix de corrosió admissible i una eficiència de la soldadura. Amb aquests valors i, conegudes les dimensions del reactor així com les característiques l'acer utilitzat, es podrà determinar el gruix requerit.

La pressió de disseny s'estima igual a la pressió atmosfèrica, ja que el procés de mescla, cocció i liqüefacció es duen a terme a pressió atmosfèrica, sent la temperatura de disseny la màxima assolible en aquestes etapes, és a dir, 120 °C.

Però per a la determinació de la pressió de disseny, a més de la pressió d'operació s'ha de tenir en consideració el sistema d'injecció de vapor, ja que en cas de fallada operacional el tanc podria arribar a la pressió de subministrament del vapor. Per això es té en compte que la pressió màxima del reactor és de 10 bars, ja que l'equip està dotat amb una vàlvula de seguretat tarada a 10 bars a fi de protegir

l'equip davant una possible mala operació o bé de qualsevol imprevist que pogués sorgir durant l'operació. La pressió màxima de disseny de l'equip equival a 10,2 kg/cm<sup>2</sup>.

- 110% de la pressió màxima d'operació:

$$1,1 \cdot 10,2 = 11,22 \frac{kg}{cm^2} \quad (\text{Eq. 4.26})$$

- Pressió màxima d'operació + 2 kg/cm<sup>2</sup>:

$$10,2 + 2 = 12,2 \frac{kg}{cm^2} \quad (\text{Eq. 4.27})$$

- Valor mínim de 3,50 kg/cm<sup>2</sup>.

D'aquesta manera, la pressió de disseny  $P_d$  pren el valor de 12,2 kg/cm<sup>2</sup>.

La temperatura de disseny s'estima com:

$$T_d = T_{max} + 20^\circ C = 120 + 20 = 140^\circ C \quad (\text{Eq. 4.28})$$

En les condicions d'operació indicades, i tenint present que el material seleccionat és acer inoxidable, es pren un sobregruix de corrosió de 0,8 mm, sent les dimensions del reactor de 2,40 m de diàmetre i una alçada de 8,0 m.

Un cop establerts les dades necessàries, es porta a terme el càlcul del gruix de la virolla prenent el valor màxim dels següents:

- Criteri d'esforços circumferencials:

$$t(mm) = \frac{P_d \cdot R_i}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_d} + C ; \text{ on } S = 1.427,60 \frac{kg}{cm^2} \quad (\text{Eq. 4.29})$$

$$t(mm) = \frac{12,2 \cdot (2.400 + 0,8)}{1.427,60 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 12,2} + 0,8 = 25,08mm$$

- Criteri d'esforços longitudinals:

$$t(mm) = \frac{P_d \cdot R_i}{S \cdot E + 0,4 \cdot P_d} + C \quad (\text{Eq. 4.30})$$

$$t(mm) = \frac{12,2 \cdot (2.400 + 0,8)}{1.427,60 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 12,2} + 0,8 = 24,84mm$$

Després d'aquests càlculs, es pren  $t=25,08\text{mm}$  que s'obté de l'espessor calculat per esforços circumferencials. En base a la normativa serà de 26mm.

**Taula 4.2.** Propietats principals del tanc de premescla.

<b>Ubicació</b>	Nau del procés de producció
<b>Codi</b>	PM
<b>Intempèrie/cobert</b>	Cobert
<b>Volum del líquid, <math>V_{liq}</math></b>	32,74 m <sup>3</sup>
<b>Volum de disseny</b>	36,19 m <sup>3</sup>
<b>Percentatge de seguretat</b>	10%
<b>Diàmetre del tanc</b>	2,40m
<b>Gruix de la paret segons ASME</b>	26mm
<b>Altura del tanc</b>	8,00m
<b>Altura líquid al tanc, <math>h_{liq}</math></b>	7,20m
<b>Diàmetre pales d'agitador</b>	0,8019m
<b>Tipus de descàrrega</b>	Inferior, amb equip de bombeig
<b>Material de construcció</b>	Acer inoxidable
<b>Normativa</b>	DIN 28131
<b>Número de pales</b>	3
<b>Tipus de pales</b>	Turbina radial de 6 pales planes
<b>Motor agitador</b>	Motor reductor
<b>Rpm agitador</b>	6-400 rpm
<b>Potència motor agitador</b>	2,5kW



<b>Sistema d'escalfament</b>	Injecció directa de vapor
<b>Condicions del vapor</b>	P=30bars ; T=235°C
<b>Cabal d'injecció vapor premescla</b>	2.086,70 kg/h
<b>Cabal d'injecció vapor cocció</b>	3.421,22 kg/h
<b>Sistema refrigeració</b>	Camisa
<b>Condicions aigua refrigeració</b>	P=1atm ; T=20°C
<b>Cabal aigua refrigeració</b>	60.000kg/h

#### 4.5.2. Intercanviador de calor

A la sortida del tanc de premescla, la barreja es troba a una temperatura al voltant dels 90°C, però a l'entrada al tanc de fermentació es requereix una temperatura no superior a 30°C a fi que el procés de fermentació es dugui a terme en les condicions idònies.

Per aconseguir el refredament del corrent, es fa necessària la instal·lació d'un intercanviador de calor de carcassa i tubs en el qual el fluid refrigerant és aigua en condicions ambientals procedents d'una torre de refrigeració.

En primer lloc, es té present que les condicions d'entrada de la barreja a l'equip són d'1 bar i 90 °C. Es pren com a pressió de disseny un 110% respecte al valor de la pressió d'entrada del corrent a l'equip, i el cabal volumètric del corrent de 0,008 m³/s.

Conegut això, i que el corrent es troba en estat líquid, es determina sobre la base de la bibliografia disponible que la velocitat de circulació per l'interior dels tubs ha d'oscil·lar entre 1 i 2 m/s, prenent-se un valor intermedi de càlcul d'1,5 m/s. Amb això, i fent ús de la següent expressió matemàtica es procedeix a la determinació del nombre de tubs necessaris:

$$n = \frac{Q}{A} = \frac{0,008 \frac{m^3}{s}}{n \cdot \pi \cdot \frac{d_{int}^2}{4}} \quad (\text{Eq. 4.31})$$

Com es pot comprovar, es necessita la determinació del diàmetre interior dels tubs, per tant, s'ha de seleccionar el tub, així com la determinació del gruix.

En primer lloc es determina que els tubs de l'intercanviador de calor seran d'acer inoxidable, seleccionant l'A-312 tipus TP304L, i un diàmetre exterior del tub de 17,1 mm. Després d'això, es procedeix a la determinació del gruix mínim requerit per al tub, per al que es fa servir la norma ASME B31.3-2002. La fórmula a emprar és la següent:

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 2 \cdot Y \cdot P} \quad (\text{Eq. 4.32})$$

On:

P: pressió de disseny, 1,1 bar

D: diàmetre exterior del tub en mm

S: propietat del material a temperatura de disseny, s'agafa de les taules de la norma, el valor de 1.151,43 bars

E: factor, de valor 1

Y: coeficient extret de la taula de la norma, de valor 0,4

Substituint els valors, es determina que el gruix mínim és de 0,0082 mm. A aquest gruix, cal afegir un valor corresponent a la tolerància proporcionada pel fabricant, el valor és de 0,50 mm així com el gruix de corrosió admissible, sent el seu valor de 0,75 mm. D'aquesta manera, es determina que el gruix mínim de la paret del tub és d'1,26 mm.

Consultant les taules de mides de tubs d'un proveïdor comercial, es selecciona un tub de diàmetre exterior de 17,1 mm i de gruix 1,65 mm, sent el diàmetre intern del tub determinat per la següent expressió:

$$D_{int} = D_{ext} - 2 \cdot \text{gruix} \quad (\text{Eq. 4.33})$$

De manera que el diàmetre interior és de 13,8 mm. Amb aquest valor de diàmetre interior del tub, es procedeix a determinar el nombre de tubs necessaris, n, sent el seu valor calculat de 35,66 tubs, prenent-se un valor de disseny de 36 tubs, els quals s'instal·laran a l'interior de l'intercanviador.

Després d'això, es procedeix a la determinació de la longitud dels tubs, per a això s'empra la següent expressió matemàtica:

$$A = n \cdot N \cdot \pi \cdot D_{ext} \cdot L \quad (\text{Eq. 4.34})$$

On:

A: Àrea d'intercanvi necessària

n: número de tubs

N: número del pas del fluid pels tubs, en aquest cas, es pren un número de passos per tub de 8.

$D_{\text{ext}}$ : diàmetre exterior del tub, en m

L: longitud dels tubs, en m

Substituint, es determina que la longitud dels tubs ha de ser de 6,52m.

A la taula següent i a mode de resum, es mostren les característiques principals de l'intercanviador de calor dissenyat.

**Taula 4.2.** Propietats principals de l'intercanviador de calor.

<b>Ubicació</b>	Nau del procés de producció
<b>Codi</b>	Int1
<b>Intempèrie/cobert</b>	Cobert
<b>Tipus d'intercanviador</b>	Carcassa i tubs
<b>Tipus de tubs</b>	Rectes
<b>Número de passos pels tubs</b>	8
<b>Corrent dels tubs</b>	Mescla
<b>Corrent de la carcassa</b>	Fluid refrigerant
<b>Corrent d'alimentació</b>	Mescla provinent del tanc de premescla: $T=90^{\circ}\text{C}$ ; $P=1\text{bar}$
<b>Corrent de refrigeració</b>	Aigua: $T=25^{\circ}\text{C}$ ; $P=1\text{bar}$ ; Cabal =25.000kmol/h
<b>Condicions sortida mescla</b>	1 bar i $30^{\circ}\text{C}$

<b>Material dels tubs</b>	Acer inoxidable A-312 TP304L
<b>Tubs</b>	$d_{\text{ext}}=17,1\text{mm}$ ; $e= 1,65\text{mm}$ $d_{\text{int}}= 13,8\text{mm}$
<b>Material carcassa</b>	Acer inoxidable
<b>Número de tubs</b>	36
<b>Longitud dels tubs</b>	6,52m

#### 4.5.3. Tanc de fermentació

Els tancs de fermentació es troben ubicats a les proximitats del tanc de premescla. D'acord amb la bibliografia disponible, se sap que l'etapa de fermentació i sacarificació tenen lloc en el mateix equip, presenta una durada aproximada d'entre 20 i 30 h. Tenint present que el fluid procedeix de l'etapa de liqüefacció, i que els tancs de fermentació estan ocupats 30 h, cal disposar de 10 tancs de fermentació. Un dels tancs es trobarà en tasques de buidatge, neteja, assecat i manteniment, mentre que els altres estaran operant.

Igual que els tancs de premescla, els tancs de fermentació disposen d'un equip d'agitació dotat amb tres pales compostes per turbines de pales planes i un sistema de serpentins encarregats de proporcionar la calor requerida perquè el procés de fermentació es dugui a terme de manera òptima.

Els tancs de fermentació, així com l'agitador allotjat al seu interior, es troben fabricats en acer inoxidable. A més, disposa a la part superior d'un conducte que permet l'evacuació cap a la torre de rentada del  $\text{CO}_2$  generat durant l'etapa de fermentació. El  $\text{CO}_2$  que després de ser rentat, assecat i comprimit és emmagatzemat per a la seva posterior venda com a subproducte de la planta de producció.

El cabal horari que rep el tanc de fermentació prové en part del tanc de mescla prèvia,  $32,74 \text{ m}^3$ , així com de l'addició d'àcid sulfúric ( $26,34 \text{ kg/h}$  equivalent a  $0,015 \text{ m}^3/\text{h}$ ), glucoamilasa ( $7,90 \text{ kg/h}$  equivalent a  $0,0063 \text{ m}^3/\text{h}$ ) i llevat ( $0,632 \text{ kg/h}$  equivalent a  $0,00063 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Tenint present l'anterior, s'arriba al fet que el cabal horari que s'ha de satisfer és de  $32,76 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Es determina que el volum del tanc de fermentació serà sobredimensionat un 10%, és per això que el volum de disseny del tanc de fermentació és de  $32,76 \text{ m}^3 \cdot 1,1 = 36 \text{ m}^3$ .

Es pren com a diàmetre del tanc de fermentació per al seu disseny un valor de 2,40 m, ja que és el màxim permès per les limitacions ja comentades. La relació entre el diàmetre i l'altura del tanc de fermentació ha d'estar entre 0,75 i 1,50, prenent-se una relació intermèdia d'1,1, de manera que l'altura del tanc serà de  $2,4 \text{ m} \cdot 1,1 = 2,64 \text{ m}$ . D'aquesta manera, el volum del tanc seria d' $11,94 \text{ m}^3$ . Per aconseguir el volum de disseny requerit, cal triplicar l'altura del tanc, el que donarà lloc al fet que calgui instal·lar a l'interior del tanc un agitador de tres pales de turbines de 6 pales planes. Per tant, l'altura del tanc agitador serà de  $2,64 \text{ m} \cdot 3 = 7,92 \text{ m}$ , és a dir, 8,0 m. Per tant, agafant l'altura del tanc de 8 m tindrà un volum de disseny de  $36,17 \text{ m}^3$ .

L'altura del líquid a l'interior del tanc és definida per la diferència entre l'altura de la paret del tanc i el producte entre el percentatge de sobre dimensionament i l'alçada de la paret del tanc d'agitació, per tant:

$$h_{liq} = h_t \cdot (1 - 0,1) = 8,0 \text{ m} \cdot 0,9 = 7,20 \text{ m} \quad (\text{Eq. 4.35})$$

L'espai entre el deflector i la paret ve donat per la següent relació:

$$e_1 = \frac{d_t}{24} = \frac{2,4 \text{ m}}{24} = 0,1 \text{ m} \quad (\text{Eq. 4.36})$$

L'amplada radial del deflector ve donat per el següent coeficient:

$$e_2 = \frac{d_t}{12} = \frac{2,4 \text{ m}}{12} = 0,2 \text{ m} \quad (\text{Eq. 4.37})$$

El diàmetre de la turbina de l'agitador ve donat per:

$$\frac{d_t}{2} = \frac{2,4 \text{ m}}{2} = 1,2 \text{ m} \quad (\text{Eq. 4.38})$$

Un cop determinades les dimensions exteriors i interiors del tanc d'agitació, es procedeix a consultar diversos catàlegs comercials, en els quals es determina que la velocitat de gir del motor del tanc d'agitació sol ser d'entre 80 i 500 rpm. El motor elèctric de l'agitador requereix una potència màxima de 2,5 kW.

A més de la determinació de les dimensions del tanc d'agitació, cal dur a terme el disseny dels serpentins de refrigeració.

En el tanc de fermentació i sacarificació, només cal dur a terme l'extracció de la calor de la reacció de fermentació, aquesta calor és capaç d'eleva la temperatura de la mescla uns 6 °C.

El sistema de refrigeració proposat, igual que en el cas del tanc de premescla anteriorment dissenyat, consisteix en una camisa de refrigeració. Per l'interior circula un cabal d'aigua apropiat capaç d'extreure la calor de la reacció de fermentació.

Les condicions de l'aigua emprada com a refrigerants són les condicions ambientals, és a dir, 1 atmosfera de pressió i una temperatura de 20 °C.

L'expressió del balanç de matèria en el tanc és la següent:

$$\begin{aligned} Q &= -F_{aigua} \cdot C_{p_{aigua}} \cdot (T_{aigua,out} - T_{aigua,int}) = F_m \cdot C_{p_m} \cdot (T_{m,out} - T_{m,int}) \\ &= U \cdot A \cdot (T_{aigua,out} - T_{aigua,int}) \end{aligned} \quad (\text{Eq. 4.39})$$

De la qual s'extreuen les següents expressions:

$$T_{aigua,out} = \frac{\left(\frac{1}{U \cdot A} + \frac{1}{F_m \cdot C_{p_m}}\right) \cdot T_{aigua,out} + \frac{1}{F_{aigua} \cdot C_{p_{aigua}}} \cdot T_{m,int}}{\frac{1}{F_{aigua} \cdot C_{p_{aigua}}} + \frac{1}{F_m \cdot C_{p_m}} + \frac{1}{U \cdot A}} \quad (\text{Eq. 4.40})$$

$$T_{m,out} = \frac{\frac{1}{F_m \cdot C_{p_m}} \cdot T_{aigua,int} + \left(\frac{1}{U \cdot A} + \frac{1}{F_{aigua} \cdot C_{p_{aigua}}}\right) \cdot T_{m,int}}{\frac{1}{F_{aigua} \cdot C_{p_{aigua}}} + \frac{1}{F_m \cdot C_{p_m}} + \frac{1}{U \cdot A}} \quad (\text{Eq. 4.41})$$

Prenent un cabal de 20.000 kg/h d'aigua en condicions ambientals, és a dir, 1 atm i 20 °C, equivalent a 5,6 kg/s, amb una calor específica de 4,18 kJ/kg·K, i tenint present que la massa de mescla a refredar és de 29.105,18 kg, amb una calor específica de valor idèntic al de l'aigua a causa de la manca de dades experimentals disponibles i tenint present que el principal component de la barreja és l'aigua. La temperatura d'entrada és de 38 °C i la temperatura a la sortida un cop refredada és de 32 °C.

Després de la resolució de les equacions anteriors, es determina que el factor  $1/U \cdot A$  té un valor d' $1,57 \cdot 10^{-5}$  i que la temperatura de l'aigua a la sortida de la camisa de refrigeració després de l'extracció de calor és de 28,73 °C.

El càlcul dels gruixos es realitza segons A.S.M.E. El material que es va a emprar per a la fabricació, tant de la virolla cilíndrica com del fons serà un acer inoxidable AISI-304L. En primer lloc, per dur a terme el càlcul del gruix de la paret de la virolla, cal definir la pressió de disseny i la temperatura de disseny, i fixar un valor pel sobregruix de corrosió admissible i una eficiència de la soldadura. Amb aquests valors i, conegudes les dimensions del reactor així com les característiques l'acer utilitzat, es podrà determinar el gruix requerit.

La pressió de disseny s'estima igual a la pressió atmosfèrica, ja que els processos de fermentació i sacarificació es duen a terme a pressió atmosfèrica, sent la temperatura de disseny la màxima assolible en aquestes etapes, és a dir, 40 °C.

La pressió de disseny s'estima com el valor màxim d'entre els criteris que s'esmenten a continuació, tenint en compte que la pressió màxima del reactor és de 10 bars, és a dir, 10,2 kg/cm².

- 110% de la pressió màxima d'operació:

$$1,1 \cdot 10,2 = 11,22 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Eq. 4.42})$$

- Pressió màxima d'operació + 2 kg/cm²:

$$10,2 + 2 = 12,2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Eq. 4.43})$$

- Valor mínim de 3,50 kg/cm².

D'aquesta manera, la pressió de disseny  $P_d$  pren el valor de 12,2 kg/cm².

La temperatura de disseny s'estima com:

$$T_d = T_{max} + 20^\circ\text{C} = 120 + 20 = 140^\circ\text{C} \quad (\text{Eq. 4.44})$$

En les condicions d'operació indicades, i tenint present que el material seleccionat és acer inoxidable, es pren un sobregruix de corrosió de 0,8 mm, sent les dimensions del reactor de 2,40 m de diàmetre i una alçada de 8,0 m.

Un cop establerts les dades necessàries, es porta a terme el càlcul del gruix de la virolla prenent el valor màxim dels següents:

- Criteri d'esforços circumferencials:

$$t(\text{mm}) = \frac{P_d \cdot R_i}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_d} + C ; \text{ on } S = 1.550 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Eq. 4.45})$$

$$t(\text{mm}) = \frac{12,2 \cdot (2.400 + 0,8)}{1.550 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 12,2} + 0,8 = 23,16 \text{ mm}$$

- Criteri d'esforços longitudinals:

$$t(mm) = \frac{P_d \cdot R_i}{S \cdot E + 0,4 \cdot P_d} + C \quad (\text{Eq. 4.46})$$

$$t(mm) = \frac{12,2 \cdot (2.400 + 0,8)}{1.5500 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 12,2} + 0,8 = 22,95mm$$

Després d'aquests càlculs, es pren  $t=23,16mm$  que s'obté de l'espessor calculat per esforços circumferencials. En base a la normativa serà de 24mm.

A la taula següent es mostren algunes de les característiques principals dels tancs de fermentació dissenyats.

**Taula 4.3.** Propietats principals dels tancs de fermentació.

<b>Ubicació</b>	Nau del procés de producció
<b>Codi</b>	FERM-*
<b>Intempèrie/cobert</b>	Cobert
<b>Volum del líquid, <math>V_{liq}</math></b>	32,74 m <sup>3</sup>
<b>Volum de disseny</b>	36,19 m <sup>3</sup>
<b>Percentatge de seguretat</b>	10%
<b>Diàmetre del tanc</b>	2,40m
<b>Gruix de la paret segons ASME</b>	24mm
<b>Altura del tanc</b>	8,00m
<b>Altura líquid al tanc, <math>h_{liq}</math></b>	7,20m
<b>Diàmetre pales d'agitador</b>	0,8019m
<b>Tipus de descàrrega</b>	Inferior, amb equip de bombeig
<b>Material de construcció</b>	Acer inoxidable
<b>Normativa</b>	DIN 28131
<b>Número de pales</b>	3



<b>Tipus de pales</b>	Turbina radial de 6 pales planes
<b>Motor agitador</b>	Motor reductor
<b>Rpm agitador</b>	6-400 rpm
<b>Potència motor agitador</b>	2,5kW
<b>Sistema d'escalfament</b>	Injecció directa de vapor
<b>Sistema refrigeració</b>	Camisa
<b>Condicions aigua refrigeració</b>	P=1atm ; T=20°C
<b>Cabal aigua refrigeració</b>	20.000kg/h

#### 4.5.4. Columna de destil·lació

La columna de destil·lació, té per objectiu dur a terme la separació en dos corrents del corrent procedent del fermentador. El corrent procedent del fermentador conté de forma majoritària aigua, etanol i la part insoluble del blat de moro mòlt. Pel corrent superior de la columna de destil·lació sortirà un corrent compost per aigua i tot l'etanol procedent dels tancs de fermentació, mentre que a el corrent de fons es procedirà a l'evacuació dels insolubles juntament amb una certa quantitat d'aigua, denominada d'ara endavant vinassa.

La pressió d'operació de la columna serà de 1 bar i es considera que aquesta pressió és constant en tota la columna. El diàmetre de la columna serà de 2,50 m segons la bibliografia consultada.

Respecte a la composició molar del corrent superior de la columna de destil·lació, serà la següent: 184,309 kmol/h d'aigua i 57,174 kmol/h d'etanol. Sent així la composició molar del corrent en etanol del 23,68% molar.

La determinació del gruix i l'altura de la columna es realitzen conjuntament i per seccions, separant-se el càlcul del cos cilíndric de la columna dels extrems superior i inferior d'aquesta.

Per a la determinació dels gruixos de la columna es tindrà en compte que el material de construcció de la columna és acer inoxidable AISI 304L.

Per a la determinació de l'espessor de la columna a l'extrem superior de la columna de destil·lació i donat que la pressió d'operació és inferior a 10,3 bars s'escull un capçal torièsfèric.

L'equació que s'utilitza per a la determinació del gruix en el codi ASME és la següent:

$$s(mm) = \left( \frac{0,885 \cdot P_d \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0,1 \cdot P_d} + t_{corr} \right) \cdot 1,1 \quad (\text{Eq. 4.47})$$

On:

$P_d$ : pressió de disseny, calculada com  $P_{op} \cdot 1,1 = 1,1$  bars

$R_{int}$ : radi interior de la columna = 1260mm

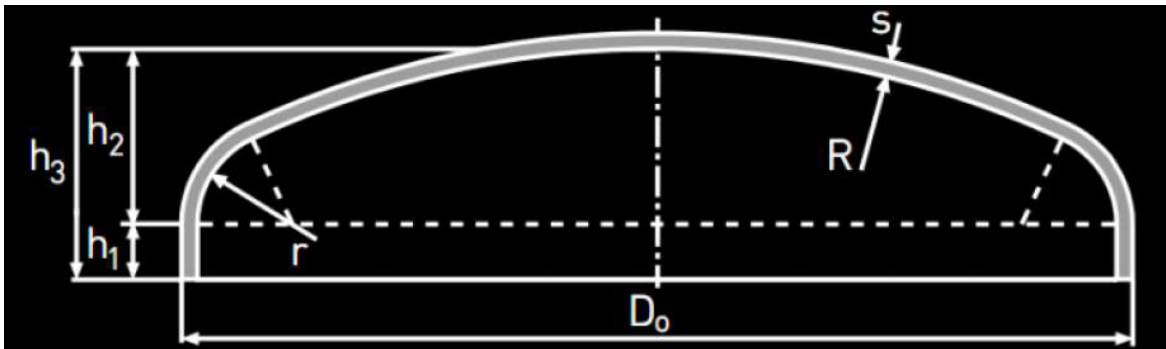
$S$ : característica del material a la temperatura de disseny, 109,6°C, equivalent a 229,28 F = 1.074,20 bar

$E$ : eficàcia de la soldadura, per defecte es pren un valor de 0,85

$t_{corr}$ : sobre espessor de corrosió, 0,8mm

Substituint a l'expressió anterior, s'obté que el gruix mínim del capçal de la columna és de 3,12 mm, seleccionant-se un espessor de 4mm.

A la figura següent es mostra un esquema dels paràmetres a determinar per a calcular l'altura del capçal.



**Figura 4.8** Paràmetres del capçal columna de destil·lació.

Els paràmetres a determinar són:

$$R = D_{int} = 2,519m = 2.519mm \quad (\text{Eq. 4.48})$$

$$r = 0,1 \cdot D_{int} = 0,2519m \quad (\text{Eq. 4.49})$$

$$h_1 = 3,5 \cdot s = 3,5 \cdot 4 = 14mm \quad (\text{Eq. 4.50})$$

$$h_2 = 0,1935 \cdot D_{int} - 0,455 \cdot s = 485,61mm \quad (\text{Eq. 4.51})$$

$$h_3 = h_1 + h_2 = 499,61mm \quad (\text{Eq. 4.52})$$

$$V_{int} = 0,084672 \cdot D_{int}^2 = 0,537 m^3 \quad (\text{Eq. 4.53})$$

$$V_{ext} = 0,084672 \cdot D_{ext}^2 = 0,084672 \cdot (D_{int} + 2 \cdot s)^2 = 0,539 m^3 \quad (\text{Eq. 4.54})$$

$$V_{paret} = V_{ext} - V_{int} = 0,002 m^3 \quad (\text{Eq. 4.55})$$

Per a la determinació de l'espessor del cos cilíndric de la columna de destil·lació, s'utilitza la següent expressió matemàtica segons el codi ASME:

$$s(mm) = \left( \frac{P_d \cdot D_{int}}{2 \cdot S \cdot E - 1,2 \cdot P_d} + t_{corr} \right) \cdot 1,1 \quad (\text{Eq. 4.56})$$

En la qual els paràmetres de l'equació prenen els mateixos valors que en el càlcul del gruix del capçal superior de la columna. Substituint a l'equació es determina que el gruix mínim del cos cilíndric de la columna de destil·lació és de 3,32 mm, de manera que es pren un gruix de la paret del cos cilíndric de 4 mm.

Finalment, per a la determinació del gruix del capçal inferior de la columna s'ha de determinar la pressió hidroestàtica de la columna, que és la que representa la pressió que exerciria el líquid a l'interior de la columna en el cas que tota la columna es trobés plena de líquid.

$$P_{hid} = \rho \cdot g \cdot h_{liq} = 69.968,06 Pa = 0,7 bar \quad (\text{Eq. 4.57})$$

On l'altura del líquid es determina a partir de la separació entre els plats, de valor igual a 0,6096 m, tenint present que el número d'etapes, N, es determina com:

$$N = \frac{N_{teòrica}}{E_{plat}} = \frac{10}{0,8} = 12,5 etapes = 13 etapes \quad (\text{Eq. 4.58})$$

$$h_{liq} = 12 \cdot 0,6096 = 7,32 m \quad (\text{Eq. 4.59})$$

La pressió al fons ve donada per la suma de la pressió d'operació i la pressió hidroestàtica, valor de la qual és de 1,8 bar.

Prenent aquesta pressió, i fent ús de l'expressió matemàtica següent, Eq. 4.56, presa del codi ASME, es determina que el gruix mínim del fons de la columna és de 3,29 mm, de manera que es pren un gruix de 4 mm. La resta de paràmetres per a la determinació de l'altura de la secció del fons de la columna es realitza de la mateixa manera que en els càlculs explicats per al capçal superior, sent l'altura del fons de la columna de 499,61 mm.

$$s(mm) = \left( \frac{P_f \cdot D_{int}}{2 \cdot S \cdot E - 1,2 \cdot P_f} + t_{corr} \right) \cdot 1,1 \quad (\text{Eq. 4.60})$$

Realitzats els càlculs anteriors, es procedeix a la determinació de l'altura total de la columna de destil·lació mitjançant l'ús de la següent equació:

$$h_{columna} = (N - 1) \cdot d_p + N \cdot e_p + h_{capçal} + h_{fons} \quad (\text{Eq. 4.61})$$

On:

N: número d'etapes reals = 13

$d_p$ : separació entre plats = 0,6096 m

$e_p$ : gruix plats = 0,003 m

$h_{capçal}$ : 499,61 mm = 0,5 m

$h_{fons}$ : 499,61 mm = 0,5 m

Substituint els paràmetres a l'equació, es determina que l'alçada total calculada de la columna de destil·lació dissenyada és de 9,35 m, a la qual se li suma per seguretat 1 m extra, de manera que l'altura total de disseny de la columna de separació és de 10,35 m.

A la taula següent es mostren a manera de resum les principals característiques de la columna de destil·lació dissenyada en el present apartat:

**Taula 4.4.** Propietats principals de la columna de destil·lació.

Ubicació	Nau del procés de producció
Codi	DEST

<b>Material de construcció</b>	Acer inoxidable, AISI 304L
<b>Pressió d'operació</b>	1 bar
<b>Temperatura màxima d'operació</b>	99,6 °C
<b>Etales reals</b>	13
<b>Espai entre plats</b>	0,6096 m
<b>Diàmetre de la columna</b>	2,52 m
<b>Gruix capçal</b>	4 mm
<b>Gruix cos cilíndric</b>	4 mm
<b>Gruix fons</b>	4 mm
<b>Altura capçal</b>	0,5 m
<b>Altura fons</b>	0,5 m
<b>Altura total</b>	10,35 m

A la sortida de la columna de separació, el corrent de vinassa es troba a una pressió d'1 bar i a una temperatura de 82 °C. S'estima convenient ajustar tèrmicament el corrent de vinassa, reduint la temperatura del corrent fins a una temperatura de 36 °C.

Per aconseguir aquest descens tèrmic en el corrent, es procedeix a dissenyar un intercanviador de carcassa i tubs, amb el corrent calent per l'interior dels tubs, i fent ús d'aigua en condicions ambientals com a refrigerant.

Es necessita un consum d'aigua refrigerant de 4.500 kmol/h i una àrea d'intercavi de 12,19 m<sup>2</sup>. A continuació i una vegada determinats els diferents paràmetres necessaris, es procedeix a la determinació del número de tubs requerits, les seves dimensions, el seu material de construcció, així com la seva distribució a l'interior de l'intercanviador de calor.

En primer lloc, es té present que les condicions d'entrada de la barreja a l'equip són 1 bar i 82 °C. Es pren com a pressió de disseny un 110% respecte al valor de la pressió d'entrada del corrent a l'equip, i el cabal volumètric del corrent de  $3,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ .

Conegut això, i que el corrent es troba en estat gasós, es determina sobre la base de la bibliografia disponible que la velocitat de circulació per l'interior dels tubs ha d'oscil·lar entre 10 i 30 m/s, prenent-se un valor de càlcul de 10 m/s. Amb això, i fent ús de la següent expressió matemàtica es procedeix a la determinació del nombre de tubs requerit:

$$g = \frac{Q}{A} = \frac{0,0031 \frac{m^3}{s}}{n \cdot \pi \cdot \frac{d_{int}^2}{4}} \quad (\text{Eq. 4.62})$$

Com s'aprecia, es necessita la determinació del diàmetre interior dels tubs, per al que cal dur a terme la selecció del tub (així com la determinació del gruix).

En primer lloc es determina que els tubs de l'intercanviador de calor seran d'acer inoxidable, seleccionant l'A-312 TP304L, i un diàmetre exterior del tub de 5 mm. Després d'això, es procedeix a la determinació del gruix mínim requerit per al tub, per al que s'empra la norma ASME B31.3-2002. La fórmula a emprar és la següent:

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 2 \cdot Y \cdot P} \quad (\text{Eq. 4.63})$$

On:

P: pressió de disseny, 1,1 bar

D: diàmetre exterior del tub en mm

S: propietat del material a la temperatura de disseny, es pren de la taula de la norma, valor de 1.151,43 bar

E: factor de valor 1

Y: coeficient de la taula de la norma, de valor 0,4

Substituint els valors, es determina que el gruix mínim és de 0,005 mm. A aquest gruix, cal afegir un valor corresponent a la tolerància proporcionada pel fabricant, 0,35 mm així com el gruix de corrosió admissible, sent el seu valor de 0,15 mm. D'aquesta manera, es determina que el gruix mínim de la paret del tub és de 0,5 mm.

Consultant les taules de mides de tubs d'un proveïdor comercial, es selecciona un tub de diàmetre exterior de 5 mm i de gruix 0,5 mm, sent el diàmetre intern del tub determinat per la següent expressió:

$$D_{int} = D_{ext} - 2 \cdot gruix \quad (\text{Eq. 4.64})$$

De manera que el diàmetre interior és de 4 mm. Amb aquest valor de diàmetre interior del tub, es procedeix a determinar el nombre de tubs requerits,  $n$ , sent el seu valor calculat de 35,66 tubs, prenent-se un valor de disseny de 36 tubs.

Després d'això, es procedeix a la determinació de la longitud dels tubs, per a això s'empra la següent expressió matemàtica:

$$A = n \cdot N \cdot \pi \cdot D_{ext} \cdot L \quad (\text{Eq. 4.65})$$

On:

A: àrea d'intercanvi necessària

$n$ : número de tubs

$N$ : número de passos del fluid pels tubs de l'intercanviador de calor, seleccionant-se en aquest cas un valor de 8

$D_{ext}$ : diàmetre exterior del tub, en m

$L$ : longitud dels tubs, en m

Substituint això, es determina que la longitud dels tubs és de 2,69 m.

A la taula següent es mostra a manera de resum les principals característiques del sistema d'ajust dissenyat en el present apartat:

**Taula 4.5.** Propietats principals de l'intercanviador de calor.

<b>Ubicació</b>	Nau del procés de producció
<b>Codi</b>	Int2
<b>Intempèrie/cobert</b>	Cobert
<b>Tipus d'intercanviador</b>	Carcassa i tubs
<b>Tipus de tubs</b>	Rectes

<b>Número de passos pels tubs</b>	8
<b>Corrent dels tubs</b>	Mescla
<b>Corrent de la carcassa</b>	Fluid refrigerant
<b>Corrent d'alimentació</b>	Mescla provinent del tanc de la columna de destil·lació: T=82°C; P=1bar
<b>Corrent de refrigeració</b>	Aigua: T=25°C ; P=1bar ; Cabal =4.500kmol/h
<b>Condicions sortida mescla</b>	1 bar i 36°C
<b>Material dels tubs</b>	Acer inoxidable A-312 TP304L
<b>Tubs</b>	$d_{ext}=5\text{mm}$ ; $e= 0,5\text{mm}$ $d_{int}= 4\text{mm}$
<b>Material carcassa</b>	Acer inoxidable
<b>Número de tubs</b>	36
<b>Longitud dels tubs</b>	2,69m

#### 4.5.5. Tamisos moleculars

L'absorció és una de les operacions de deshidratació de l'etanol àmpliament utilitzada en l'àmbit industrial, i sobre la qual més s'ha investigat i desenvolupat en els últims temps.

En aquesta operació, la barreja etanol-aigua passa a través d'un equip cilíndric que conté un llit de material absorbent en el seu interior, en aquest cas, un llit de zeolita tipus A amb un diàmetre de porus de 3 Å. A causa de la diferència d'afinitat de les molècules de l'etanol i de l'aigua pel que fa a l'absorbent, aquest últim queda atrapada al llit a través de fenòmens de transport superficial, mentre l'etanol passa a través del mateix augmentant la seva concentració en el corrent de sortida de l'aparell.

Els tamisos moleculars són materials granulars rígids de forma esfèrica o cilíndrica elaborats a partir d'aluminosilcats de potassi. Es classifiquen d'acord al diàmetre nominal de la gran quantitat de porus



interns que posseeixen i que donen accés al volum lliure intersticial que es troba a l'estructura microcristal·lina d'aquests materials. Per a la deshidratació d'etanol s'empren tamisos amb un diàmetre mitjà dels camins intersticials de 3 Angstroms (tamisos tipus 3 Å). La molècula d'aigua té un diàmetre menor que el dels camins intersticials d'aquest tipus de tamisos, mentre que la de l'etanol no; a més, l'aigua pot absorbir-se a la superfície interna dels camins de l'estructura del tamís molecular. Les molècules d'aigua poden envair l'estructura interior dels tamisos a diferència de les molècules d'etanol que, causa de la seva major grandària, passen a través de l'espai entre les partícules dels tamisos moleculars i abandonen el llit sense ser absorbides. Aquestes característiques els fan molt adequats per a la separació de les mescles etanol-aigua resultants de la destil·lació convencional.

L'operació d'absorció requereix que un cop saturat el llit de l'absorbent amb la substància a separar, s'ha de realitzar l'alliberament de la mateixa (desorció) per permetre la reutilització del material absorbent (cicle de regeneració). Per a la regeneració dels tamisos es requereix gas calent, la qual cosa els deteriora ràpidament, especialment si el llit s'alimenta en fase líquida durant el cicle anterior d'absorció d'aigua. Per contrarestar aquest deteriorament es va desenvolupar la tecnologia d'absorció per vaivé de pressió (Pressure Swing Adsorption, PSA) que implica l'ús de dos llits d'absorció. Mentre un dels llits produeix vapors d'etanol anhidre escalfats sota pressió, l'altre es regenera en condicions de buit recirculant una petita porció dels vapors escalfats d'etanol a través dels tamisos moleculars.

Després de l'explicació de l'operativa del procés de deshidratació de l'etanol anhidre, i tenint present les característiques de la zeolita tipus A de tipus 3 Å proporcionades pels diferents proveïdors d'aquest material, es procedeix a determinar la quantitat de zeolita requerida perquè el tamís molecular operi en cicles d'1 hora.

El corrent procedent de la columna de destil·lació està composta per 61,07 kmol/h d'aigua i 55,76 kmol/h d'etanol, equivalent a 1.099,26 kg/h d'aigua i 2.564,96 kg/h d'etanol. Tenint present que la zeolita tipus A presenta una capacitat d'absorció d'aigua en les condicions d'operació del voltant del 70% del seu pes, es procedeix a determinar la quantitat de zeolita requerida, en què:

$$Zeolita = \frac{kg \text{ aigua}}{0,7} = \frac{1.099,26}{0,7} = 1.570,37 \text{ kg} \quad (\text{Eq. 4.66})$$

Per la qual cosa es requereix un llit de zeolita tipus A compost per 1.570,37 kg de zeolita. Coneguda la massa de zeolita necessària, es determina el volum que ocupa el tamís, per a això es pren una densitat de 680 kg/m<sup>3</sup>, sent el volum del tamís de zeolita de 2,31 m<sup>3</sup>.

Determinat el volum del llit, es procedeix a determinar tant el diàmetre com l'altura d'aquest. Es pren un diàmetre del llit de 0,7 m, sent l'altura del llit de 6 m.

Després de la determinació dels paràmetres bàsics del sistema de deshidratació del corrent d'etanol, es procedeix a la determinació del gruix i de l'altura total de la carcassa en la qual es troben allotjats cadascun dels tamisos moleculars. Per a això se segueix el procediment descrit a continuació.

La determinació del gruix i de l'altura de la columna es realitza de forma conjunta i per seccions, separant el càlcul del cos cilíndric de la columna dels extrems superior i inferior d'aquesta.

Per a la determinació dels gruixos de les carcasses dels tamisos moleculars, es tindrà en compte que el material de construcció de la columna és acer inoxidable AISI 304L.

L'equació que s'empra per a la determinació del gruix del capçal de la carcassa dels tamisos moleculars en el codi ASME és la següent:

$$s(mm) = \left( \frac{0,885 \cdot P_d \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0,1 \cdot P_d} + t_{corr} \right) \cdot 1,1 \quad (\text{Eq. 4.67})$$

On:

$P_d$ : pressió de disseny, calculada com  $P_{op} \cdot 1,1 = 2,77$  bars

$R_{int}$ : radi interior de la columna = 350 mm

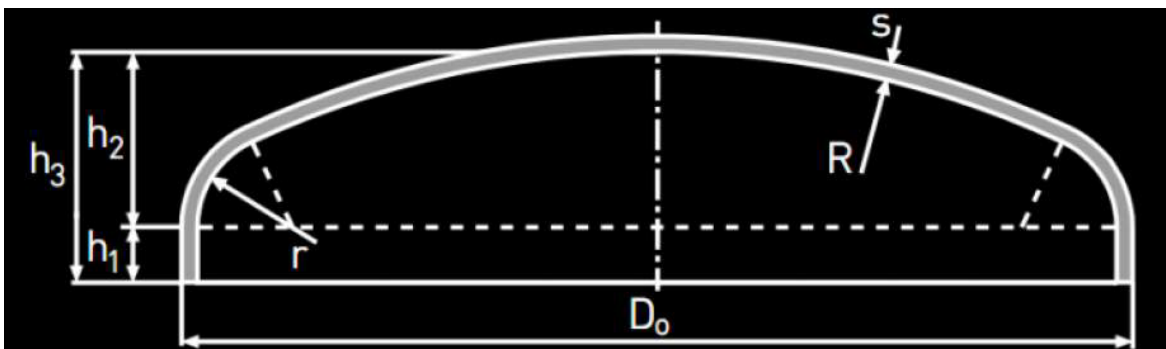
$S$ : característica del material a la temperatura de disseny, 1.650 bar

$E$ : eficàcia de la soldadura, per defecte es pren un valor de 0,85

$t_{corr}$ : sobre espessor de corrosió, 0,8mm

Substituint en l'expressió anterior, es determina que el gruix mínim del capçal de la carcassa dels tamisos és d'1,55 mm, seleccionant-se un gruix de 2 mm.

A la figura següent es mostra un esquema dels paràmetres a determinar per a calcular l'altura del capçal.



**Figura 4.9** Paràmetres del capçal de la carcassa dels tamisos moleculars.

Els paràmetres a determinar són:

$$R = D_{int} = 0,7m = 700 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 4.68})$$

$$r = 0,1 \cdot D_{int} = 70 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 4.69})$$

$$h_1 = 3,5 \cdot s = 3,5 \cdot 2 = 7 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 4.70})$$

$$h_2 = 0,1935 \cdot D_{int} - 0,455 \cdot s = 134,54 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 4.71})$$

$$h_3 = h_1 + h_2 = 141,54 \text{ mm} \quad (\text{Eq. 4.72})$$

$$V_{int} = 0,084672 \cdot D_{int}^2 = 0,04149 \text{ m}^3 \quad (\text{Eq. 4.73})$$

$$V_{ext} = 0,084672 \cdot D_{ext}^2 = 0,084672 \cdot (D_{int} + 2 \cdot s)^2 = 0,04196 \text{ m}^3 \quad (\text{Eq. 4.74})$$

$$V_{paret} = V_{ext} - V_{int} = 4,71 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \quad (\text{Eq. 4.75})$$

Per a la determinació de l'espessor del cos cilíndric de la carcassa dels tamisos, s'utilitza la següent expressió matemàtica segons el codi ASME:

$$s(\text{mm}) = \left( \frac{P_d \cdot D_{int}}{2 \cdot S \cdot E - 1,2 \cdot P_d} + t_{corr} \right) \cdot 1,1 \quad (\text{Eq. 4.76})$$

En la qual els paràmetres de l'equació prenen els mateixos valors que en el càlcul del gruix del capçal superior de la carcassa. Substituint a l'equació es determina que el gruix mínim del cos cilíndric de la carcassa dels tamisos és de 1,64 mm, de manera que es pren un gruix de la paret del cos cilíndric de 2 mm.

Finalment, per a la determinació del gruix del capçal inferior de la carcassa s'ha de determinar la pressió hidroestàtica de la carcassa, que és la que representa la pressió que exerciria el líquid a l'interior de la carcassa en el cas que tota la carcassa es trobés plena de líquid.

$$P_{hid} = \rho \cdot g \cdot h_{liq} = 46.587,69 \text{ Pa} = 0,466 \text{ bar} \quad (\text{Eq. 4.77})$$

On l'altura del líquid es determina a partir de l'alçada del llit de zeolita, és a dir, 6 m, considerant que aquest llit en cas de fallada en l'operació s'inundi amb etanol anhidre líquid.

La pressió en el fons és definida per la suma de la pressió d'operació i la pressió hidroestàtica, el valor puja a 2,99 bar.

Prenent aquesta pressió, i fent ús de l'expressió matemàtica següent, presa del codi ASME, es determina que el gruix mínim del fons de la carcassa és d'1,70 mm, de manera que es pren un gruix de 2 mm. La resta de paràmetres per a la determinació de l'altura de la secció de fons de la carcassa es realitza de la mateixa manera que en els càlculs explicats per al capçal de cap, sent l'altura del fons de la columna de 141,54 mm.

$$s(mm) = \left( \frac{P_f \cdot D_{int}}{2 \cdot S \cdot E - 1,2 \cdot P_f} + t_{corr} \right) \cdot 1,1 \quad (\text{Eq. 4.78})$$

Realitzats els càlculs anteriors, es procedeix a la determinació de l'altura total de la carcassa dels tamisos moleculars mitjançant l'ús de la següent expressió matemàtica:

$$h_{carcassa} = h_{llit} + h_{capçal} + h_{fons} \quad (\text{Eq. 4.79})$$

On:

$h_{llit}$ : 6 m

$h_{capçal}$ : 141,54 mm = 0,142 m

$h_{fons}$ : 141,54 mm = 0,142 m

Substituint els paràmetres a l'equació es determina que l'alçada total calculada de la carcassa dels tamisos moleculars dissenyada és de 6,28 m, a la qual se li suma per seguretat 1 m extra, de manera que l'alçada total de disseny de la carcassa dels tamisos és de 7,28 m, per la qual cosa es pren una alçada total de disseny per a la carcassa dels tamisos moleculars de 7,30 m.

A la taula següent i a mode de resum, es mostren les principals característiques del sistema de tamisos moleculars per a la deshidratació del corrent d'etanol.

**Taula 4.6.** Propietats principals del sistema de tamisos moleculars.

<b>Ubicació</b>	Nau del procés de producció
<b>Codi</b>	TM-*

<b>Material de construcció</b>	Acer inoxidable, AISI 304L
<b>Condicions d'operació</b>	2 bar
<b>Corrent alimentació</b>	Composició: 70% p/p etanol
<b>Corrent sortida</b>	Composició: 99% p/p etanol
<b>Espessors carcassa</b>	Capçal = 2 mm Cos cilíndric = 2 mm Fons = 2 mm
<b>Altura carcassa</b>	7,30 m

## 5. Introducció al Tia Portal

### 5.1. Introducció

TIA Portal és l'innovador sistema d'enginyeria que permet configurar de forma intuïtiva i eficient tots els processos de planificació i producció. Convenç per la seva funcionalitat provada i per oferir un entorn d'enginyeria unificat per a totes les tasques de control, visualització i accionament.

El TIA Portal incorpora les noves versions de programari SIMATIC Step7, WinCC i Startdrive per a la programació, parametrització i diagnòstic dels nostres controladors SIMATIC, pantalles de visualització, i accionaments, la nova versió del sistema d'enginyeria SIMATIC STEP 7 per a la planificació, la programació i el diagnòstic de tots els controladors SIMATIC.

Amb una nova generació d'editors de programació més productius s'optimitza la qualitat, l'eficiència i la consistència de tot el procés de producció. Es disposa així de text estructurat, diagrames de contactes, esquemes de funcionament, llistes d'instruccions i la possibilitat de programar la cadena de processos.

A la següent figura podem veure tot el que podem incloure en un projecte de Tia Portal. Començant per els controladors (PLCs) i diferents llenguatges de programació. Pantalles i Scada, en el mateix projecte de Tia Portal pots programar les pantalles alhora que programes el controlador, hi ha varis nivells del software que permeten programar a un nivell més ampli o menys. Per últim tenim els accionaments, amb una llicència d'StartDrive es poden configurar, parametritzar i programar accionaments també des del mateix programa.

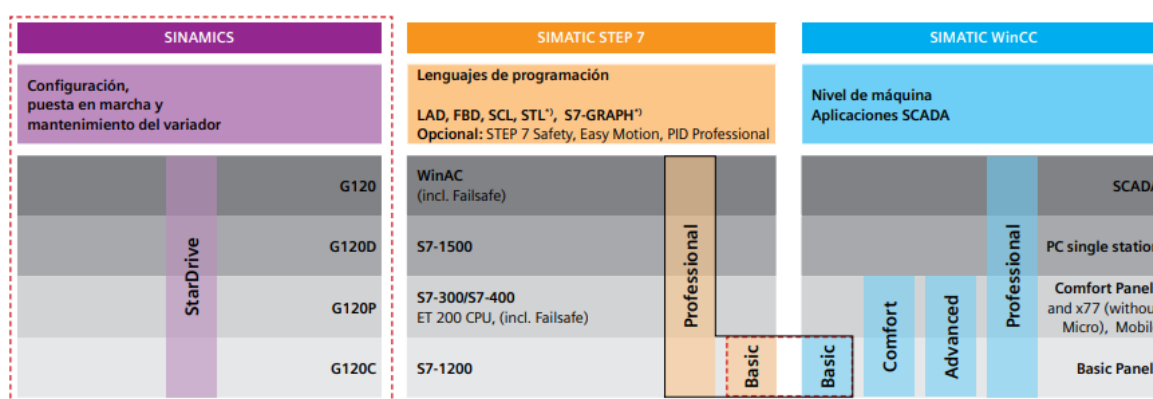


Figura 5.0 Parts del programa Tia Portal.

Amb SINAMICS Stardrive els accionaments de SINAMICS G120 i S120 s'integren de manera impecable a les solucions d'automatització de SIMATIC. Així són fàcils de parametritzar, de posar en marxa i de diagnosticar. Això suposa un estalvi de temps, redueix els errors en l'enginyeria i l'esforç en la capacitat.

Dins el TIA Portal, SIMATIC STEP 7 és el programari que permet configurar, programar, revisar i diagnosticar tots els controladors SIMATIC. Gràcies a una sèrie de funcions, SIMATIC STEP 7 garanteix un estalvi de despeses considerable en tots els processos d'automatització.

Dins d'aquesta eina de programació, pots programar el controlador en varis llenguatges:

- Step 7: Contempla el KOP, FUP i AWL.
- S7-SCL: per a la programació d'algoritmes complexos. S7-SCL es correspon amb el llenguatge de programació textual d'alt nivell ST (text estructurat) definit en la norma IEC 61131-3 i compleix amb els nivells *Base Leven* i *Reusability Leven* conformes a PLCopen. S7-SCL està indicat especialment per a la programació d'algoritmes complexos i funcions matemàtiques o bé per a tasques de l'àmbit de processament de dades.
- S7-Graph: el paquet de programari S7-GRAPH s'utilitza per descriure processos seqüencials amb seqüències alternatives o paral·leles. Els processos es configuren i es programen d'una forma clara i ràpida en un tipus de representació estandarditzat (segons IEC 61131-3, DIN EN 61131).
- S7-PLCSim: per a provar el software sense controlador. Els sistemes de simulació poden admetre amb plena eficàcia el desenvolupament de programes i la seva utilització productiva. Un entorn de prova simulat, inclòs el control i el procés, redueix, per exemple, els temps de posada en marxa i, per tant, redueix els costos.

El programari d'enginyeria WinCC permet la configuració coherent de tots els panells d'operador SIMATIC, fins i tot els llocs de visualització basats en PC.

## 5.2. Llicències per al Tia Portal

Per a les llicències de software del STEP 7 existeixen dos possibilitats, l'STEP7 Basic, on només es pot programar el PLC S7-1200 amb els llenguatges KOP, FUP O SCL, i l'STEP7 Professional, on pots programar tota la gama de PLCs de Siemens i en qualsevol dels llenguatges anteriorment mencionats.

Per a les llicències de software de les pantalles WinCC, existeixen quatre possibilitats:

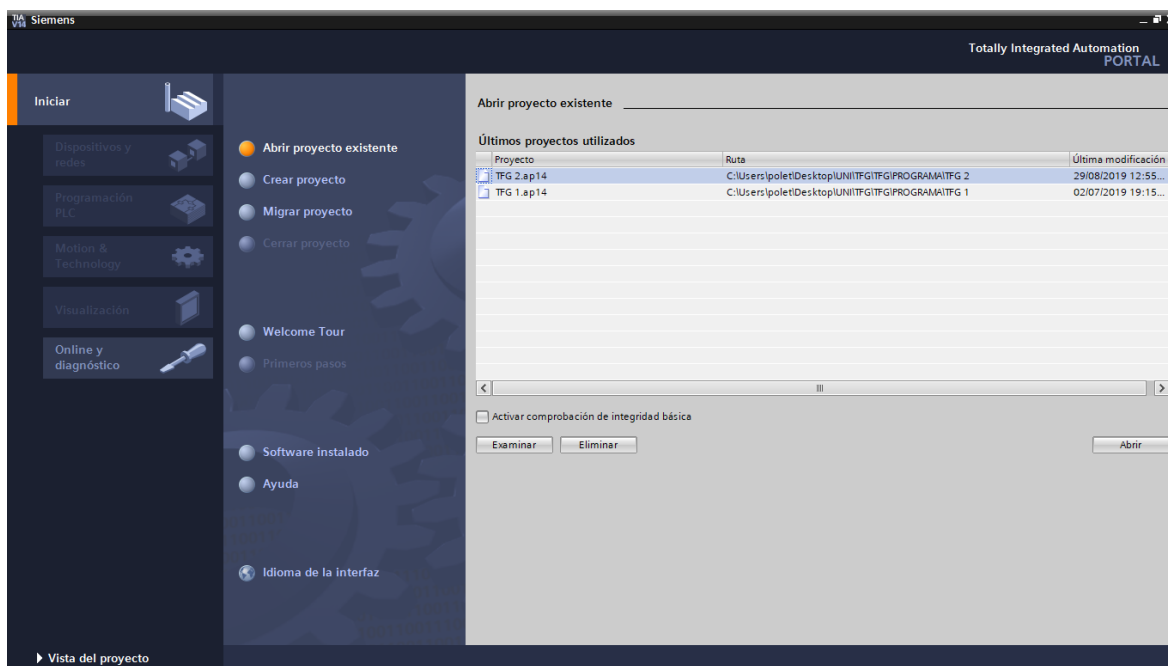
- WinCC Basic: per a pantalles de tipus Basic. Aquesta és inclosa a la llicència d'STEP7.

- WinCC Comfort: per a pantalles del tipus Basic i Comfort. Són pantalles una mica més sofisticades i es poden visualitzar i programar més coses.
- WinCC Advanced: inclou les pantalles dels dos softwares anteriors i a més inclou PC mono lloc. També inclou el Runtime Advanced, que permet simular la pantalla sense tenir-la de connectar físicament.
- WinCC Professional: aquesta llicència inclou SCADAs, inclou el Runtime Professional, que permet simular la pantalla i és més avançat que l'anterior.

### 5.3. Vista del projecte i vista del portal

El Tia Portal té dos vistes diferents que formen l'entorn de treball. Les dos vistes són:

- Vista del portal, és una vista orientada als objectes del projecte. S'accedeix als dispositius, components i les seves connexions. Es pot configurar el hardware, crear o migrar projectes, canviar l'idioma de la interfície, etc.



**Figura 5.1** Vista del portal.

- Vista del projecte, aquesta vista forma l'estructura de tots els components del projecte. Permet l'accés a tots els editors, paràmetres i dades. A la figura següent es mostra un exemple de la vista de projecte.



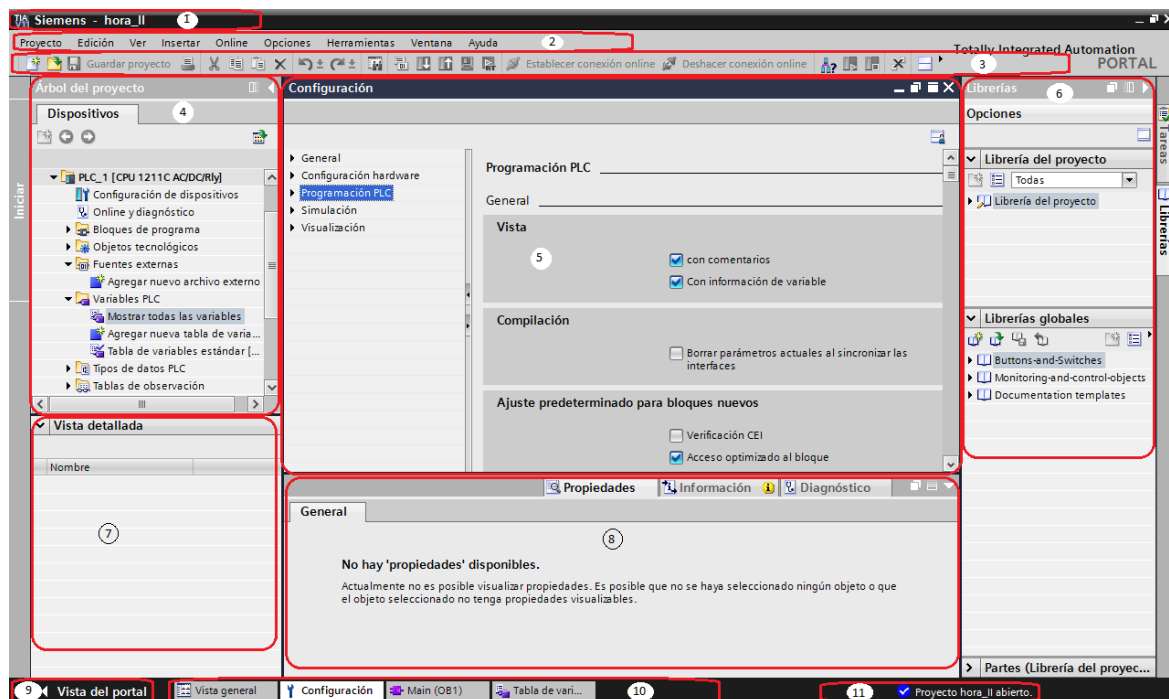


Figura 5.2 Vista del projecte.

A continuació s'explica cada número de la imatge anterior:

1. Barra del títol.
2. Barra de menús.
3. Barra d'eines.
4. Arbre del projecte, que conté tots els components i les dades del projecte per a la aplicació automatitzada. Tots els components poden ser oberts des d'aquesta zona.
5. Àrea de treball, els objectes oberts per a la seva edició es visualitzen a l'àrea de treball. Aquests objectes inclouen, per exemple, components de hardware, blocs, taula de variables del PLC, imatges dels dispositius HMI, etc. Si varis objectes són oberts a la vegada, aquests es visualitzaran a les pestanyes de la barra d'editors.
6. Task Cards (eines), aquestes proporcionen les eines per configurar/programar el contingut de les tasques depenent dels objectes visualitzats a l'àrea de treball.
7. Vista detallada. Mostra ajuda complementaria. Des d'aquesta, es mostren els elements seleccionats des de l'arbre de projecte. Aquests poden ser utilitzats en l'àrea de treball activa (arrossegant-los directament).
8. Finestra d'inspecció, mostra informació addicional per els objectes seleccionats o en accions executades. Les propietats dels objectes seleccionats també poden ser editades des de la finestra d'inspecció (per exemple, les propietats de les pantalles, objectes de les pantalles, variables,...). La finestra d'inspecció visualitza tots els missatges del sistema d'enginyeria, com

per exemple, els resultats del projecte compilat. Aquesta finestra sempre s'ha de comprovar per detectar qualsevol error i/o avís generat després de la compilació.

9. Canviar a la vista de portal, per a tornar a la vista de portal.
10. Barra d'editors, a mesura que anem obrint pestanyes o mòduls, aquests apareixen a aquesta barra.
11. Barra d'estat amb indicador de progrés, és un indicador amb els processos que s'estan realitzant en segon pla.

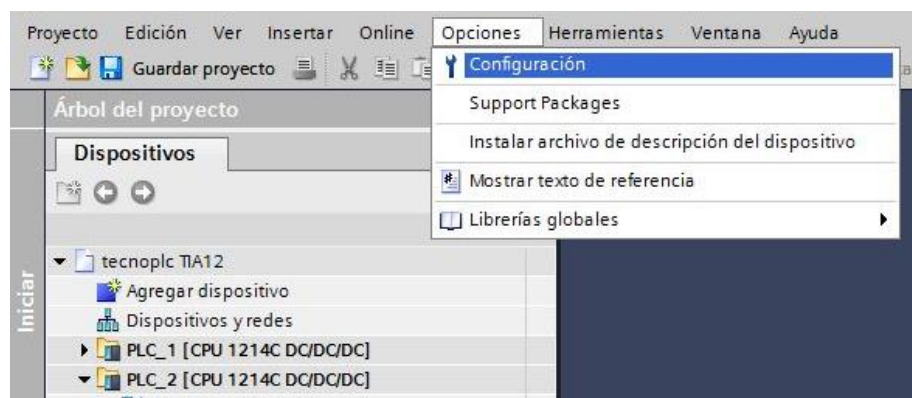
Les posicions i les característiques de les finestres poden ser configurades individualment. Es poden ocultar les finestres menys utilitzades per poder disposar d'una major zona de treball. Al guardar el projecte, les posicions i característiques de les finestres queden guardades automàticament.

## 5.4. Idioma de la interfície

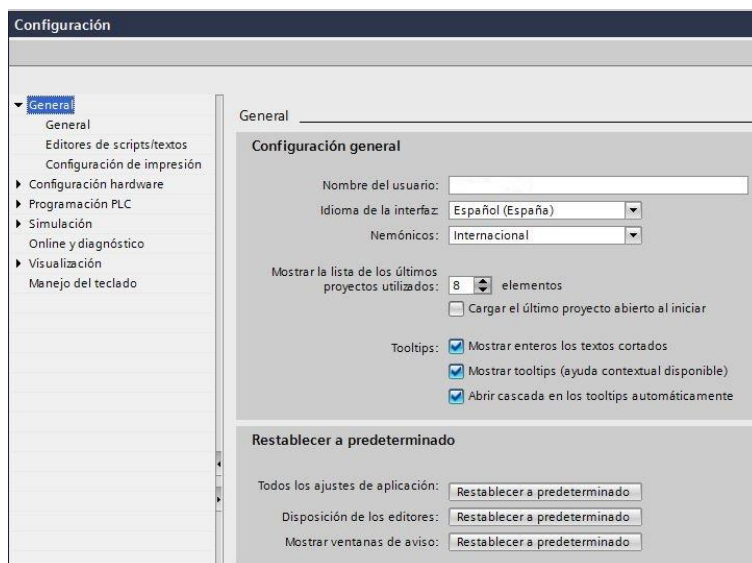
Per a poder accedir a canviar l'idioma al Tia Portal tenim dos opcions, depenent de la vista a la que ens trobem.

Des de la vista del portal, tal i com es pot observar a la figura 5.1, a centre de la imatge a baix de tot hi apareix l'opció *Idioma de la interfaz*. Fent clic aquí, ens apareix a la part dreta un menú desplegable amb les diferents opcions d'idioma a poder seleccionar.

Des de la vista del projecte, és una mica més complex, però, s'ensenyà a partir de les següents figures.



**Figura 5.3** Canvi d'idioma des de la vista del projecte. Pas 1.



**Figura 5.4** Canvi d'idioma des de la vista del projecte. Pas 2.

A la figura 5.4 veiem que ens apareix a la part dreta l'opció desplegable per a poder canviar l'idioma de la interfície.

També es poden canviar els símbols per a referenciar les direccions d'entrades i sortides. A l'opció desplegable de *Nemónicos* podem seleccionar l'internacional o l'alemany. Això canviarà la forma en la que ens apareixen nombrades les entrades i sortides al nostre programa.

- Alemany: les entrades apareixen amb una E i les sortides amb una A.
- Internacional: les entrades apareixen amb una I i les sortides amb una Q.

## 5.5. Guardar i migrar un projecte

Una peculiaritat del Tia Portal és que independentment del objecte que estigui obert a l'àrea de treball, sempre guarda el projecte sencer en l'estat actual quan es polsa la icona de guardar projecte, inclús si alguns dels objectes del projecte es troben incomplets o en error (incorrectes). Això implica una millora respecte el software anterior de Siemens (STEP 7 classic), que per poder guardar el projecte, aquest havia d'estar sense errors i complet.

La migració de projectes al Tia Portal és molt senzilla i intuïtiva. Els projectes realitzats amb STEP 7 clàssic es poden migrar al Tia Portal sempre que el projecte s'hagi elaborat amb versions superiors al STEP 7  $\geq$  v5.4 SP5 o WinCC flexible  $\geq$  2008 SP2 o WinCC  $\geq$  v7.0 SP3.

També es poden migrar els sistemes del S7-300/400 i els seus programes al S7-1500 a partir de la v12 el Tia Portal.

Per actualitzar els projectes realitzats amb versions de Tia Portal anteriors a la actual, només és necessari d'actualitzar el projecte, sense haver-lo de migrar. A part, els projectes i les llibreries de versions anteriors del Tia Portal es poden obrir amb l'editor sense tenir de convertir el projecte a la versió nova.

Com podem observar a la figura 5.1, a la part central de la figura a dalt, apareix una opció que diu *Migrar proyecto*, és aquí on hauríem de seleccionar per a poder migrar un projecte del software antic al Tia Portal.

## 5.6. Llibreries

Hi ha dos tipus de llibreries al Tia Portal, les llibreries globals i les llibreries locals. A la següent figura podem veure un exemple.



**Figura 5.5** Exemple de visualització de la pestanya de llibreries.

Les llibreries locals o llibreries del projecte, permeten emmagatzemar els objectes que vagin a ser utilitzats més endavant. Aquesta llibreria es manté sempre oberta, guardant i tancant-se junt amb el projecte. Cada projecte consta de la seva pròpia llibreria.

La llibreria global emmagatzema independentment del projecte i dels objectes que hagin estat emmagatzemats en aquest, podent-se utilitzar en diferents projectes.

L'àrea de la llibreria global també conté llibreries subministrades amb el Tia Portal, com per exemple, funcions i blocs de funcions preprogramades. Les llibreries subministrades no permeten la seva modificació.

Una llibreria pot tenir la següent llista d'objectes: funcions (FCs), blocs de funcions (FBs), blocs de dades (DBs), dispositius, tipus de dades del PLC, taules d'observació, imatges, taules de variables,...

## 5.7. Eines *online*

És possible establir una connexió amb la CPU, diagnosticar i mostrar la informació de l'estat dels blocs. Amb la CPU *online*, també es poden mostrar les “eines *online*” d'aquesta i ofereix informació com el temps de cicle i la càrrega de memòria.

Quasi tots els equips automatitzats, com controladors o panells tàctils se'ls poden assignar paràmetres. La parametrització dels dispositius i la configuració de xarxes es controlen a partir de “dispositius i xarxes”. Amb això, per exemple, es poden establir les direccions IP dels dispositius comunicats mitjançant Ethernet.

Inclús es poden establir les direccions dels mòduls E/S o el temps de vigilància de la CPU mitjançant el configurador.

El protocol d'internet (IP) és la base per totes les xarxes TCP/IP. Es creen paquets de dades específics d'enviament adaptats pel protocol i s'ocupen del seu transport dins d'una subxarxa local o Routing a altres subxarxes.

Les direccions IP no s'assignen a un equip específic, sinó a les interfícies de comunicació del dispositiu. Per tant, un equip podria tenir varies connexions de xarxa assignant-li una direcció IP per a cada connexió.

Les direccions IP consten de 4 Bytes de direcció. Amb la notació de punts, es defineix cada byte de la direcció IP mitjançant un número decimal entre 0 i 255. Els quatre números decimals són separats per punts. Un exemple de direcció IP podria ser: 192.168.10.12.

Cada interfície d'Ethernet té assignada una direcció fixe i inequívoca establerta pel fabricant. Aquesta direcció es coneix com a direcció física o direcció MAC (*Media Access Control*). S'emmagatzema a la targeta de xarxa i identifica de forma única la interfície Ethernet en una xarxa local. La cooperació entre fabricants assegura que la direcció no es repeteixi en tot el món.

La màscara de subxarxa especifica quines direccions IP poden treballar a la xarxa local. Només les direccions IP que formin part de la subxarxa específica podran comunicar-se entre elles.

La funció del Tia Portal anomenada “dispositius accessibles” mostra tots els mòduls accessibles programables (CPUs, FMs, CPs, equips HMI) encara que es trobin en altres subxarxa.

Cada vegada que s'intenti accedir a un mòdul i aquest es trobi en una xarxa diferent a la del ordinador, apareixerà un diàleg que preguntarà si es vol canviar la direcció IP assignada per a poder establir comunicació. Després de la comunicació, s'assignarà una direcció IP al ordinador amb el rang adequat per a comunicar amb l'equip, llavors es podran utilitzar de nou totes les funcions online.

Una altra funció respecte l'online al Tia Portal és el "buffer de diagnòstic", que es troba dins de "Online i diagnòstic". El buffer de diagnòstic és una zona de registres de la CPU organitzada com a buffer circular. Conté tots els esdeveniments de diagnòstic (alarmes d'error, alarmes de diagnòstic, informació de l'arrancada, etc.) de la CPU en l'ordre que han ocorregut.

Dins d'"Online i diagnòstics" també hi ha un panell d'operador de la CPU, on es pot canviar l'estat de la CPU. Pots passar del mode *Stop* al mode *Run* i viceversa de la CPU sense haver-ho de fer físicament, només establint la connexió online amb el dispositiu.

Altres funcions dins de "Online i diagnòstics" són:

- Ajust de l'hora del dia, cada CPU del S7 té un rellotge a temps real que es pot modificar.
- Assignar direccions IP.
- Restablir als ajusts de fàbrica.
- Formatar la targeta de memòria.
- Assignar un nom al equip.
- Actualitzar el *firmware*.

## 5.8. Variables locals i globals

Les variables que es declaren a la "Taula de variables" o en un bloc de dades formen part de les variables globals i poden ser accessibles des de tots els blocs del programa. Per això són anomenades com a variables globals.

Les variables i paràmetres declarats a la zona de declaració de paràmetres del bloc són operands locals que només es poden utilitzar al mateix bloc declarat.

Les característiques de les variables globals són:

- Rang de validesa: accessibles des de qualsevol part del PLC, el nom de la variable ha de ser únic per tot el PLC.
- Tipus: entrades, sortides, marques, variables a blocs de dades, temporitzadors, comptadors.
- Àrea de declaració: taula de variables del PLC, bloc de dades globals.
- Representació simbòlica: les variables globals es representen entre cometes.

Les característiques de les variables globals són:

- Rang de validesa: accessible només des del bloc on s'ha declarat. El nom de la variable ha de ser únic dins el bloc.
- Tipus: variables temporals, variables estàtiques.
- Àrea de declaració: àrea de declaració del bloc.
- Representació simbòlica: les variables locals van precedides per #.

## 5.9. Tipus de blocs i dades del programa

### 5.9.1. Tipus de blocs de programa

El sistema d'automatització disposa de varis tipus de blocs on s'emmagatzemen les dades i les instruccions de programa. Depenent dels requisits de procés, el programa pot estructurar-se en diferents blocs. Es permet l'ús de totes les instruccions en tots els blocs (FB, FC i OB).

- Blocs d'organització (OBs): els blocs d'organització formen part de la interfície d'usuari. El programa sencer pot emmagatzemar-se al OB1 ja que s'executa cíclicament (programa lineal) o bé pot dividir-se en varis blocs de programa (programació estructurada).
- Funcions (FCs): una funció conté les funcionalitats parcials d'un programa. Hi ha la possibilitat de programar funcions amb paràmetres que seran assignats a la crida de la funció. Com a característica, les funcions també són adequades per programes reiteratius, amb funcionalitats parcialment complexes tals com càlculs.
- Blocs de funció (FBs): bàsicament els blocs de funció ofereixen les mateixes possibilitats que les funcions. A més, els blocs de funcions es vinculen a una àrea de memòria d'un bloc de dades d'instància. Com a característica, els blocs de funció són adequats per programes reiteratius amb funcionalitats complexes com funcions de llaç tancat.

### 5.9.2. Tipus de dades

Els tipus de dades simples més importants en STEP 7 són els següents:

- *Bool* (booleà): té una longitud d'un bit i el seu valor només pot ser 1 o 0. Es representen com I 1.0 o M0.1, depenent si és una entrada, una marca o una sortida.
- *Byte*: té una longitud de 8 bits i es representen com a MB10, per exemple.
- *Word*: té una longitud de 16 bits i es representa com a MW72, per exemple.
- *DWord*: és una doble paraula, és una seqüència de 32 bits i es representen com MD20.
- *Int* (enter): representa un tipus de variable entera, té una longitud de 16 bits.

- *Real* (real): representa un tipus de dades de valor real, amb coma. Té una longitud de 32 bits.

Els tipus de dades per a temporitzadors, dates i hores més comuns són:

- *Time* (temps): una variable d'aquest tipus (duració en ms) ocupa 32 bits. S'utilitza, per exemple, per especificar valors de temps a les funcions de temporització.
- *LTime* : representa una duració que s'emmagatzema en 64 bits de memòria i té una resolució de nano segons. Això implica que les variables d'aquest tipus poden emmagatzemar duracions més llargues i amb més resolució.
- *Date* (data): ocupa 16 bits i representa una data concreta.
- *Time Of Day* (temps del dia): ocupa 32 bits i emmagatzema el número de mil·lisegons des del començament del dia com un enter sense signe.
- *Date and Time* (data i temps): representa un punt en el temps que consisteix en la data i la hora.



## 6. Disseny i Implementació de la Solució

### 6.1. Arquitectura del Sistema de Control

#### 6.1.1. Hardware del Sistema

Per al hardware del nostre sistema hi tenim el PLC, la seva font d'alimentació, les entrades i sortides tant digitals com analògiques, una pantalla HMI així com el portàtil amb el software instal·lat.

Les referències i especificacions dels components de hardware són les següents:

- Controlador: referència 6ES7515-2AM01-0AB0, CPU 1515-2 PN. Mòdul central amb memòria de treball de 500 KB per programes i 3MB per a dades. Temps d'operació de 30 ns, concepte de protecció de 4 nivells. Funcions tecnològiques integrades: *Motion Control*, regulació, comptatge i mesures. 3 interfícies, la 1ª PROFINET IO suporta RT/IRT amb un *switch* de dos ports. La 2ª interfície, PROFINET RT 30ns rendiment de bits. CPU amb possibilitat de *Runtime*.
- Font d'alimentació: referència 6ES7505-0KA00-0AB0, PS 25W 24V DC. Alimenta el bus de fons del S7-1500, per tant, encarregada d'alimentar les targetes opcionals de la CPU.
- Targeta de memòria: referència 6ES7954-8LL03-0AA0. Targeta de 256 MB de memòria.
- Targeta d'entrades digitals: referència 6ES7521-1BL00-0AB0, DI 32 x 24 V DC HF. Mòdul de 32 entrades digitals, repartides amb dos grups de 16, retard a l'entrada de 0,05 a 20 ms. Diagnòstic de canal individual.
- Targeta de sortides digitals: referència 6ES7522-1BL01-0AB0, DQ 32x24VDC/0.5A HF. Mòdul de 32 sortides digitals en grups de 8. Intensitat nominal de 4A per a cada grup i amb diagnòstic de canal individual.
- Targeta d'entrades analògiques: referència 6ES7531-7KF00-0AB0, AI 8xU/I/RTD/TC ST. Mòdul de 8 entrades analògiques amb resolució de 16 bits, precisió del 0,3%. 4 canals per a la mesura de RTD, tensió en mode comú de 10V i diagnòstic de canal individual.
- Targeta de sortides analògiques: referència 6ES7532-5HF00-0AB0, AQ 8xU/I HS. Mòdul de 8 sortides analògiques amb resolució de 16 bits, precisió del 0,3%, valor substitutiu de cada canal en 0,125 ms i diagnòstic de cada canal individual.
- Pantalla HMI: referència 6AV2124-0UC24-0BX0, SIMATIC HMI TP1900 Comfort PRO. Pantalla TFT *widescreen* de 19", 16 milions de colors, interfície PROFINET, interfície MPI/PROFIBUS DP, memòria de configuració de 24 MB.
- Ordinador portàtil: referència 6ES7718-1CB07-0AC0, SIMATIC Field PG M6. Processador Intel i7-8850H, 15,6" de pantalla, Full HD (1920 x 1080); Bluetooth v5.0; DVD +/-RW; UHD Graphics 630. 512 GB de memòria SSD. 32 GB de RAM. Versió instal·lada de Windows 10 64 bits.

Aquesta serà doncs, la configuració del hardware per a la planta dissenyada.

### 6.1.2. Software del Sistema

Els diversos softwares que s'han d'utilitzar per a poder programar el PLC, la pantalla HMI, fer les simulacions i controlar el procés es detallen a continuació.

- Software per a la programació del PLC: referència 6ES7822-1AA05-0YA5, SIMATIC STEP 7 Professional V15.1. Aquest és el software més important del Tia Portal, ja que engloba tota la programació dels controladors i permet enllaçar-la amb la programació de pantalles, d'accionaments, és la base per a les simulacions i les comunicacions.
- Software per a la programació de les pantalles HMI: referència 6AV2103-0HA05-0AA5, SIMATIC WinCC Professional V15. Aquest software permet programar les pantalles HMI així com SCADAs. S'integra dins el Tia Portal, així doncs amb una sola eina d'enginyeria es programen els controladors i les pantalles.
- Software per a la simulació de pantalles HMI: referència 6AV2105-0HA05-0AA0, SIMATIC WinCC Runtime Professional V15. Aquest software, que també s'integra al Tia Portal, permet de simular les pantalles programades.
- Software per a la simulació del PLC: referència 6ES7823-1FA01-0YA5, SIMATIC S7-PLCSIM Advanced V2.0. Software que com els altres s'integra dins el Tia Portal i que completa la nostra selecció de softwares. Amb aquest es poden simular els programes dels controladors sense necessitat de tenir les entrades i sortides físiques així com el PLC.

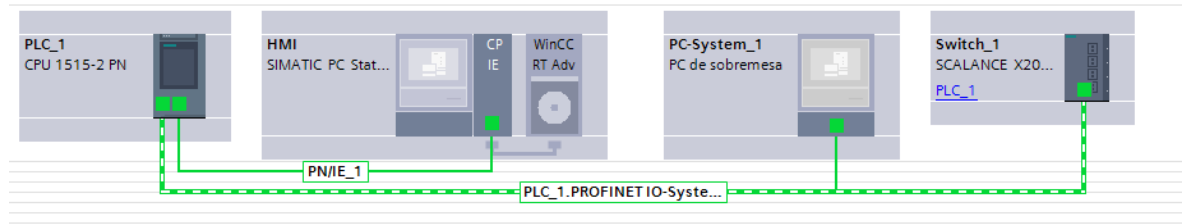
Amb tot això som capaços de realitzar l'automatització de la planta de fabricació de bioetanol sense la necessitat de la planta real. Per tant, això ens ajuda a poder simular el que podria passar en una planta de fabricació d'etanol i sense la necessitat d'estar in situ, veure els possibles defectes i solucionar-los.

### 6.1.3. Vista global de les Comunicacions

Les comunicacions del controlador amb la pantalla HMI es faran via cable PROFINET i per els ports de PROFINET que te cada un dels dispositius. A la vegada la comunicació entre el controlador i el portàtil també es faran mitjançant un cable PROFINET, utilitzant l'altre port del controlador i el port d'Ethernet de l'ordinador portàtil. Amb això es podran transferir els programes realitzats al portàtil cap al controlador i cap a la pantalla HMI.

Un cop transferits els programes, quan el controlador estigui a l'armari elèctric i de control de la planta, junt amb la pantalla, s'utilitzarà un *Switch* i un mòdul WIFI per a poder establir una connexió remota del controlador amb el portàtil des de qualsevol lloc de la fàbrica. També es podria establir una

connexió amb qualsevol mòbil que disposi de l'aplicació adient per a poder veure el procés a temps real.

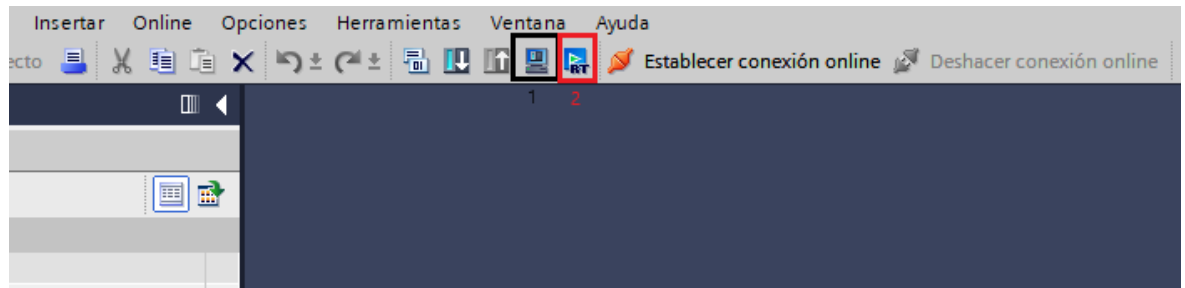


**Figura 6.1** Exemple de visualització de les comunicacions.

A la figura anterior veiem un exemple realitzat al Tia Portal de com podria ser la comunicació entre ordinador i controlador mitjançant el Switch anteriorment esmentat.

## 6.2. Simulació del Procés

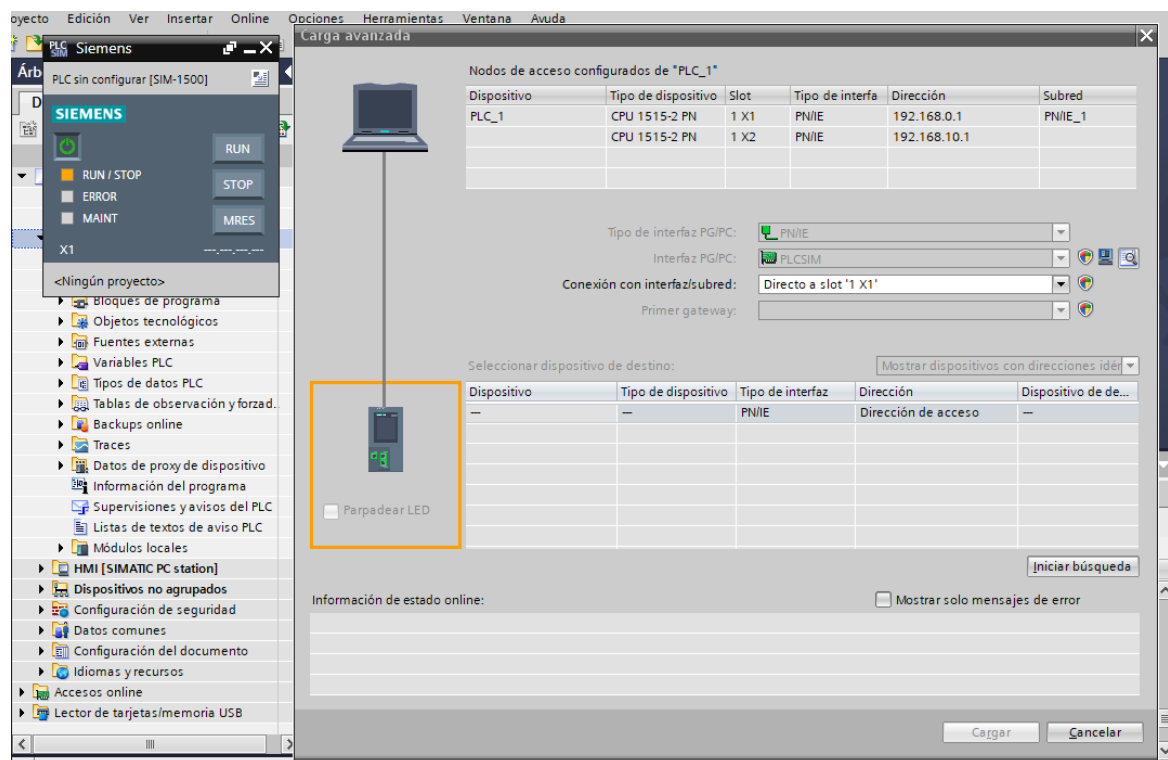
Per a poder simular el procés, tal i com s'ha explicat anteriorment, s'utilitzaran els softwares de simulació de pantalles HMI i de PLC, el WinCC Runtime Professional i el PLCSIM Advanced.



**Figura 6.2** Icones per a la simulació del PLC i la pantalla HMI.

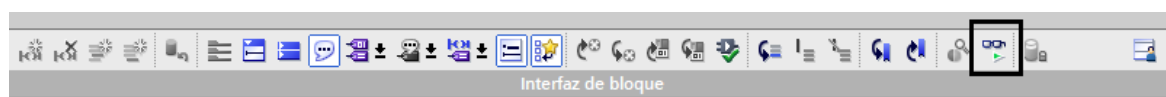
En la figura anterior, podem veure dues icones senyalades, aquestes són les icones per a la simulació del procés. En negre, i la número 1 és la icona que s'ha de prémer per a simular el controlador. Aquesta icona obre una finestra que crea un PLC virtual, amb unes direccions IP virtuals a les quals es carrega el programa. Un cop s'ha establert la connexió amb el PLC virtual i s'ha carregat el programa, pots simular la programació i veure com s'executa el programa i el que passa a les sortides d'aquest. Per exemple, simulant el programa i activant la vista d'observació, pots seguir com el programa es simula a temps real.

A continuació es mostra a la figura 6.3 el que apareix al prémer la icona 1.



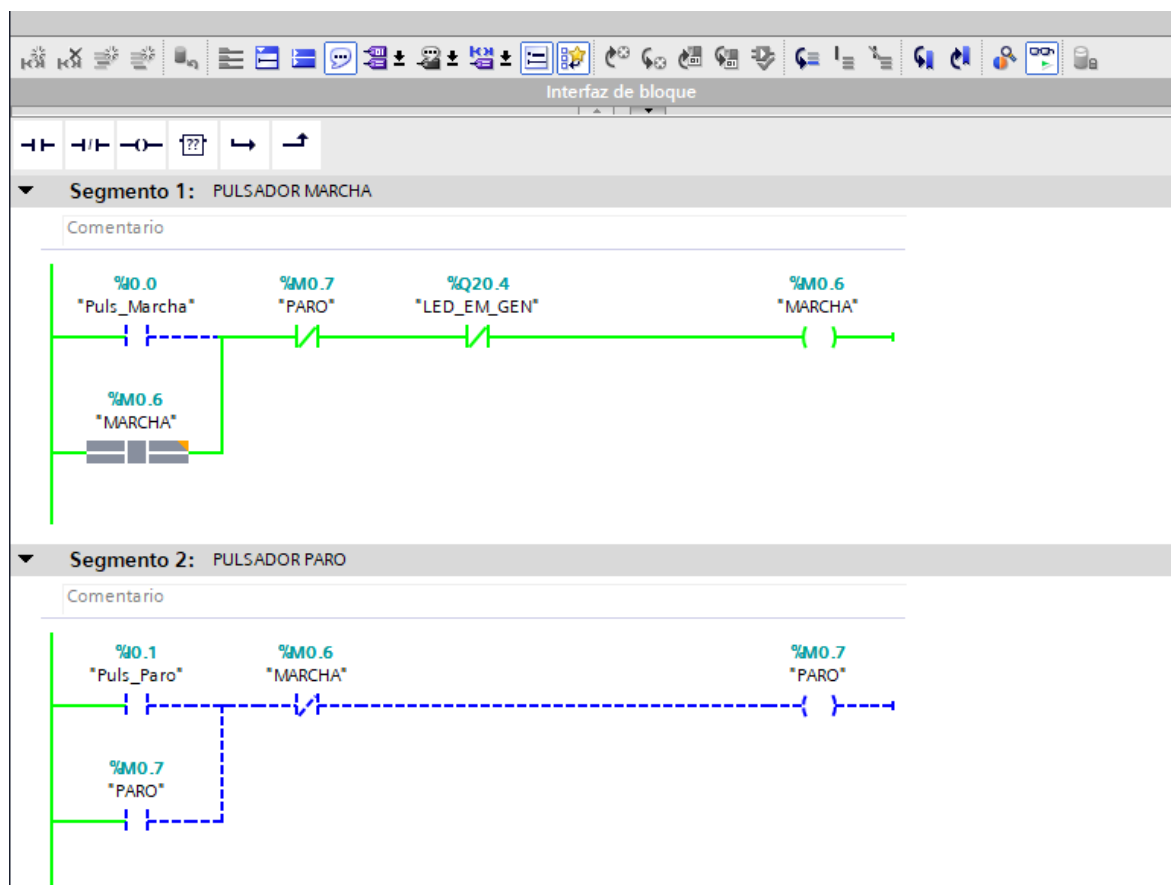
**Figura 6.3** Exemple de la càrrega del programa al PLC virtual.

A la part esquerra de la figura es pot observar la finestra que s'obre i que crea el PLC virtual i al centre de la figura apareix la finestra per a carregar el programa a aquest PLC virtual. Un cop carregat el programa i estant *online*, prement la següent icona, s'observa l'execució del programa.



**Figura 6.4** Icona per a activar l'observació *online*.

Així doncs es mostra a la següent figura de com quedaria la simulació del programa tenint activada la icona mencionada i tenint al connexió amb el PLC de manera *online*. Com podem observar a continuació, en el mode d'observació, la part del programa que s'està executant es mostra en verd i la part del programa que no s'està executant al moment, està en blau i amb línies discontinues.



**Figura 6.5** Representació de l'execució del programa.

Respecte a la simulació de la pantalla HMI, prement la icona mostrada en vermell a la figura 6.2, es carrega el programa de la pantalla a una pantalla virtual i s'executa en pantalla completa la simulació d'aquesta. Amb el ratolí de l'ordinador i clicant sobre les diferents parts de la pantalla que s'hagi programat, podràs veure com el programa s'executa en segon pla i la pantalla mostra el que se li ha programat depenent del que estigui executant-se al programa del controlador.

Per a l'ajuda de la visualització de la simulació del procés, s'han creat taules d'observació per analitzar l'execució automàtica del procés. Aquestes taules estan formades per les variables desitjades per l'usuari i s'utilitzen per a veure el seu estat en cada moment o per veure com canvien d'estat. Alhora, dins aquestes taules d'observació, també es poden forçar valors a les variables, ja siguin variables del tipus booleà, enter o real. En el cas de les variables de tipus booleà pots canviar el seu estat de 0 a 1 o viceversa escrivint l'estat al qual vols canviar i prement la icona de forçar les variables. En el cas de les variables de tipus enters o reals, s'haurà d'escriure el nombre al qual vols que es forcin les variables i tal i com s'ha indicat, prémer la icona de forçar les variables seleccionades.

A continuació es mostra un exemple d'una taula d'observació per a les variables més importants del tanc de premescla.

	i	Nombre	Dirección	Formato visualiza..	Valor de observac..	Valor de forzado		Comentario
1		"MARCHA"	%M0.6	BOOL	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>	
2		"PARO"	%M0.7	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE	FALSE	<input type="checkbox"/>	
3		"Led_Fun_PM1"	%Q0.0	BOOL	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE		<input type="checkbox"/>	
4		"LED_FUN_INT"	%Q26.7	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>	
5		"Led_Fun_FERM1"	%Q12.1	BOOL	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE		<input type="checkbox"/>	
6		"VAL_AF_PM1"	%Q1.1	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>	
7		"VAL_VAPOR_PM1"	%Q1.2	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>	
8		"VALOR_TEMP_PM"	%MD254	Número en coma...	24.99		<input type="checkbox"/>	
9		"VAL_ENT_PM1"	%Q1.4	BOOL	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE		<input type="checkbox"/>	
10		"VAL_SAL_PM1"	%Q1.5	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>	
11		"VALOR_NIV_PM"	%MD250	Número en coma...	70.31661		<input type="checkbox"/>	
12		"VAL_Ent_Int"	%Q2.1	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>	
13		"VAL_Sal_Int"	%Q2.5	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>	
14		"VAL_Ent_FERM1"	%Q3.0	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>	
15		"VAL_Sal_FERM1"	%Q5.4	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>	
16		"VALOR_NIV_FER..."	%MD274	Número en coma...	90.0209		<input type="checkbox"/>	
17		"VALOR_TEMP_FE..."	%MD426	Número en coma...	30.001		<input type="checkbox"/>	
18		"Tanques_FERM"	%MW32	DEC+/-	2		<input type="checkbox"/>	
19		"Mant_FERM1"	%M1.5	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>	
20		"VAL_Ent_FERM2"	%Q3.1	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>	
21		<Agregar>					<input type="checkbox"/>	

Figura 6.6 Exemple d'una taula d'observació en mode *online*.

Mitjançant les taules d'observació ens permet veure el funcionament del procés sense haver de desplaçar-nos amunt i avall al programa per veure quines són les seqüències que s'estan executant i quines variables estan actuant, etc. Seria l'equivalent a fer una "fotografia" del procés en cada cicle d'*scan*.

El "cicle d'*scan*" és el temps que tarda el controlador a executar tot el programa, que es va executant cíclicament i és de l'ordre dels mil·lisegons. Per tant, a cada cicle d'*scan* es mostren els canvis que hi ha hagut a les variables, en valor o en estat.

## 6.3. Descomposició del Problema de Control

### 6.3.1. Tanc de premescla

Tal i com s'ha comentat anteriorment als apartats de la descripció del procés, partim del fet que el blat de moro ja ha estat molt prèviament per a entrar al nostre procés. Així doncs, el blat de moro molt juntament amb una gran quantitat d'aigua esmentada anteriorment, entren al primer tanc del sistema de control.

Aquest tanc s'anomena tanc de premescla i és on es realitza la mescla del blat de moro molt amb aigua, la cocció d'aquesta barreja i la líquuefacció d'aquesta. Cada etapa d'aquest tanc és important per al

producte final, per tant, es tindrà molta cura de que les condicions a les quals s'ha d'executar cada etapa siguin les correctes.

Primerament, entren els productes al tanc a partir d'unes bombes i unes vàlvules que condueixen els productes des dels seus dipòsits fins al tanc de premescla. Aquestes bombes i vàlvules que són les encarregades d'omplir el tanc, venen controlades per el sensor de nivell del tanc. De tal manera, quan es posa en marxa en procés, el sensor de nivell troba buit el tanc i dona una senyal a les bombes i a les vàlvules per a que s'encenguin i es comenci a omplir el tanc. Quan el volum del tanc està al 90%, el detector de nivell retira la senyal enviada a les bombes i vàlvules i aquestes deixen d'operar. Per tant, el tanc queda omplert fins aproximadament el 90% del seu volum, deixant un marge d'un 10% per a possibles errors a les bombes o vàlvules i que donés temps al operari a prémer el botó d'emergència i parar el funcionament del tanc per a no tenir problemes.

Un cop els productes són dins el tanc el motor del tanc comença a funcionar i es comencen a barrejar els productes de l'interior, ja que el motor fa girar les pales de la turbina. Aquest motor girarà de forma continua i a una velocitat constant fins a que s'hagi evacuat el producte de l'interior del tanc i s'estigui netejant o estigui en manteniment.

Amb el motor funcionant i els productes a l'interior del tanc, comença el procés de premescla, que dura uns 10 minuts. Durant aquests minuts s'ha augmentat la temperatura fins els 60 °C per a la correcte execució de l'etapa. Aquest augment de temperatura s'ha dut a terme mitjançant una injecció directa de vapor, aigua en estat gasós, a l'interior del tanc. La injecció d'aquest vapor es produeix gràcies a una vàlvula i una bomba que s'activen quan el sensor de temperatura està detectant una temperatura inferior als 60°C. Per tant, com que els productes entren amb una temperatura ambient, d'uns 25°C, el tanc s'escalfarà des d'aquests 25°C fins als 60°C en els 10 minuts que dura l'etapa. Un cop arribada a la temperatura adient marcada per el sensor de temperatura, el controlador desactiva les senyals de la bomba i la vàlvula del conducte de vapor. En el cas que la temperatura tornés a baixar per sota els 60°C, la vàlvula i la bomba es tornarien a obrir per tornar a escalfar la mescla.

Un cop acabada l'etapa de premescla, el tanc inicia l'etapa de cocció que té una durada d'uns 60 minuts. Aquesta etapa es porta a terme a una temperatura de 120°C, per tant, serà necessària la injecció de vapor a l'interior del tanc per escalfar la mescla dels 60°C als 120°C. Així doncs, tal i com s'ha dut a terme a l'etapa anterior, el controlador obrirà la vàlvula i la bomba per a que entri de nou el vapor a l'interior del tanc i s'escalfi la mescla. Un cop aquesta estigui a la temperatura adequada, que vindrà marcada també per el sensor de temperatura del tanc, el controlador desactivarà la bomba i la vàlvula.

Una vegada els 60 minuts de l'etapa de cocció hagin finalitzat, començarà l'etapa de líquefacció. Aquesta etapa té una durada de 90 minuts i s'ha de realitzar a una temperatura de 90°C, per tant la

mescla s'haurà de refredar dels 120°C fins als 90°C en un període d'uns 15 minuts. Això serà possible gràcies a la camisa de refrigeració del tanc, on entra aigua freda procedent del sistema de refrigeració i surt també d'aquesta camisa aigua més calenta que anirà cap al sistema de refrigeració. Per tant, s'intercanviarà la calor de l'interior del tanc amb la de l'aigua de la camisa. L'aigua d'entrada i sortida de la camisa ve conduïda per unes canonades dotades d'una bomba i una vàlvula cada una, i aquestes són controlades per el sensor de temperatura. De manera que quan comença l'etapa de líquefacció i el controlador detecta que la temperatura del tanc és superior a la que hauria de ser a aquesta etapa, activa les bombes i vàlvules de la camisa per a que refredin el tanc fins a la temperatura adequada. Un cop s'ha arribat a aquesta temperatura, el controlador desactivarà el funcionament de les bombes i vàlvules.

Al finalitzar l'etapa de líquefacció, el controlador activarà les senyals de la vàlvula i la bomba de sortida per a que el producte es dirigeixi cap a l'intercanviador de calor precedent als tancs de fermentació. Per tant, aquesta bomba i vàlvula de sortida vindran controlades per al detector de nivell, que fins que no marqui que el tanc està buit, el controlador no les desactivarà. Quan el tanc estigui buit, començarà l'etapa de rentat del tanc, que durarà uns 10 minuts i deixarà el tanc net per a que tornin a entrar els productes i el procés del tanc de premescla torni a començar.

El procés dissenyat compta amb una etapa de manteniment preventiu per a poder solucionar els problemes que hi poguessin haver als sensors dels tancs o a les vàlvules i bombes. Per tant, s'ha establert que cada 3 operacions del tanc de premescla, entenent com a una operació el procés sencer des de que ha estat omplert fins a que ha estat buidat, hi hagi un període de 1h en el que es realitzarà el pertinent manteniment del tanc.

Per si hi hagués algun problema al tanc amb la temperatura o amb alguna de les bombes o vàlvules, el tanc disposarà d'un sistema de parada d'emergència a l'armari de control per a poder parar el funcionament del tanc. El producte passat un temps després d'haver polsat la parada d'emergència, no podria continuar el procés ja que les condicions del tanc haurien variat respecte les normals. Per això, s'ha dissenyat una sortida d'emergència pel producte, que a partir d'una vàlvula, el producte de l'interior del tanc serà conduït fins al tanc d'emergència, on després de ser tractat, el producte es recircularà una altra vegada al procés.

### **6.3.2. Intercanviador de calor**

Un cop el producte surt del tanc de premescla per dirigir-se cap al tanc de fermentació, aquest és prèviament refredat mitjançant un intercanviador de calor.

L'intercanviador de calor té un funcionament senzill i no requereix d'un sistema de control complex, quan estan activades la bomba i la vàlvula de sortida del tanc de premescla, el controlador activa també



la bomba i vàlvula d'entrada a l'intercanviador, i de la mateixa manera, quan no estan activades, aquestes també resten desactivades.

L'intercanviador redueix la temperatura del producte dels 90°C als 30°C, que és la temperatura a la qual el producte ha d'entrar als tancs de fermentació. Per a això, es fa passar pels tubs de l'intercanviador, aigua freda que prové del sistema de refrigeració. Aquesta aigua és conduïda mitjançant una bomba i una vàlvula, que a la vegada són controlades per un sensor de temperatura ubicat dins l'intercanviador.

Així doncs, si la temperatura està sent superior a l'establerta, el controlador activarà la vàlvula i bomba d'entrada d'aigua freda a l'intercanviador així com la vàlvula i la bomba de sortida d'aigua més calenta, degut a l'intercanvi de calor. L'aigua calenta es conduirà fins al sistema de refrigeració per a poder ser refrigerada i posteriorment recirculada al sistema.

Un cop està oberta la vàlvula i la bomba d'entrada a l'intercanviador, el controlador també obra la vàlvula i la bomba de sortida d'aquest que conduirà el producte fins als tancs de fermentació.

### 6.3.3. Tancs de fermentació

Al procés hi ha 10 tancs de fermentació, com s'ha comentat anteriorment, i això es deu a que l'etapa de sacarificació i fermentació dura unes 30h. Per tant, i amb l'objectiu de no tenir parat en cap moment el tanc de premescla per a esperar a que el tanc de fermentació hagi acabat les seves etapes per a poder tornar a ser omplert, es dissenya una planta amb 10 tancs que operaran a la vegada a mesura que es vagin omplint.

D'aquesta manera, quan la bomba i la vàlvula de sortida de l'intercanviador s'activin, el controlador activarà també la vàlvula i la bomba generals dels tancs de fermentació així com la bomba i la vàlvula del tanc que hagi d'operar en aquell moment. Quan el procés comenci, el tanc número 1 serà el que s'ompli primer, després s'omplirà el segon, així successivament fins que els 10 tancs s'hagin omplert en cada cicle del tanc de premescla. A partir d'aquest moment, es tornarà a repetir l'ordre anteriorment esmentat per a seguir amb el procés.

Alhora que el controlador activa la bomba i la vàlvula generals dels tancs de fermentació, també activarà la bomba i la vàlvula generals dels productes a afegir al tanc a més a més del producte provinent del tanc de premescla, que són el llevat, l'àcid sulfúric i la glucoamilasa. Aquests productes seran conduïts des dels seus tancs d'emmagatzematge i seran subministrats al tanc pertinent de la mateixa manera que és subministrat el producte que prové del tanc de premescla. Així doncs, a part d'activar-se la bomba i la vàlvula general, el controlador també activarà la vàlvula específica que conduirà el producte al tanc que pertanyi.

Les dosis d'aquests productes han de ser controlades de manera molt precisa per al correcte desenvolupament de les etapes de sacarificació i fermentació, és per això que un cabalímetre detectaria la dosis subministrada i donaria la senyal al controlador per a desactivar la vàlvula d'entrada del producte al tanc.

Un cop el detector de nivell hagi detectat que s'ha arribat al 90% del volum del tanc, es desactivaran totes les bombes i vàlvules d'entrada de productes al tanc.

Els tancs de fermentació també disposen del sistema de barreja compost per un motor i unes pales, que al igual que al tanc de premescla, el motor estarà activat durant tot el procés. El controlador l'activarà quan entri el producte dins el tanc i el desactivarà una vegada el producte comenci a sortir.

Degut a l'escalfament que es produeix a l'etapa de fermentació, els tancs de fermentació es doten d'una camisa de refrigeració al igual que el tanc de premescla. Actuarà de la mateixa manera que ho fa la camisa del tanc de premescla. L'entrada d'aigua freda provinent del sistema de refrigeració s'activarà quan el sensor de temperatura del tanc de fermentació envii una temperatura superior a l'establerta per el controlador. Tan bon punt el controlador activi la vàlvula i bomba d'entrada d'aigua freda també activarà la bomba i vàlvula de sortida de l'aigua calenta que es conduirà cap al sistema de refrigeració. Quan la temperatura estigui al valor adequat es tornaran a desactivar les bombes i les vàlvules.

Un cop acabada l'etapa de fermentació, el producte resultant sortirà del tanc per una canonada mitjançant l'actuació d'una bomba i una vàlvula que conduiran aquest producte fins a la columna de destil·lació. Mentre estiguin activades aquesta bomba i vàlvula de sortida del tanc, també ho estaran la bomba i la vàlvula generals de sortida dels tancs de fermentació.

Un cop el detector de nivell mesuri que el nivell és nul, el controlador desactivarà el funcionament de les vàlvules i bombes específiques i generals.

De la mateixa manera que s'ha esmentat al apartat del tanc de premescla, els tancs de fermentació també disposaran d'un temps per al manteniment preventiu d'aquests. Un cop realitzat una operació completa del tanc, es disposarà d'unes 3 hores per al manteniment d'aquest.

Finalment, per si hi hagués algun problema al tanc amb la temperatura, nivell o amb alguna de les bombes o vàlvules, cada un dels tancs de fermentació disposaran d'un sistema de parada d'emergència a l'armari de control per a poder parar el funcionament del tanc. El producte passat un temps després d'haver polsat la parada d'emergència, no podria continuar el procés ja que les condicions del tanc haurien variat respecte les normals. Per això, s'ha dissenyat una sortida d'emergència pel producte, que a partir d'una vàlvula, el producte de l'interior del tanc serà conduït fins al tanc d'emergència, on després de ser tractat, el producte es recircularà una altra vegada al procés.

#### 6.3.4. Sistema de deshidratació

El sistema de deshidratació de l'etanol està format per una columna de destil·lació i uns tamisos moleculars com a principals components del sistema. A més d'aquests també hi ha un intercanviador de calor i un tanc d'injecció de vapor.

El producte de sortida dels tancs de fermentació és conduït fins a l'entrada de la columna de destil·lació, aquesta canonada que condueix el producte està dotada d'una bomba i una vàlvula que són controlades per el controlador. De manera que, quan alguna de les bombes i vàlvules específiques de cada tanc de fermentació s'activa, i per tant, s'activa també la vàlvula general i la bomba general del producte de sortida, el controlador dona la senyal d'activació de la bomba i vàlvula d'entrada a la columna de destil·lació. Juntament amb l'activació de la bomba i la vàlvula d'entrada, s'activa també la vàlvula d'injecció de vapor a la columna per a evaporar l'etanol que està entrant.

Un cop ha entrat el producte, hi ha dos vies per les quals pot sortir, depenent de la composició del producte. La primera és la corrent superior de la columna, és etanol en estat gasós que ha estat separat de l'aigua i els sòlids gràcies a la injecció de calor dins la columna. La segona via de sortida, es la corrent de la part inferior de la columna, composta bàsicament per aigua i sòlids.

Per la canonada superior de la columna on hi circula l'etanol hi ha una vàlvula i una bomba, que venen controlades per la vàlvula i la bomba d'entrada a la columna. D'aquesta manera, quan aquestes s'activen, el controlador activa també la vàlvula i la bomba de la sortida superior de la columna per a que el flux d'etanol pugui sortir de la columna.

Aquest etanol en estat gasós passarà per un intercanviador de calor per a condensar-lo. Així doncs la vàlvula i bomba superiors seran les que conduiran l'etanol cap a aquest intercanviador. Aquest intercanviador refredarà l'etanol fins a una temperatura d'uns 36°C. Per tant, es col·locarà un sensor de temperatura per a controlar la temperatura de sortida del fluid. Quan aquesta temperatura sigui l'adequada, el controlador activarà la vàlvula i la bomba de sortida de l'intercanviador. La refrigeració de l'aigua situada a l'intercanviador s'efectuarà amb aigua freda provinent del sistema de refrigeració que entrarà mitjançant una vàlvula i una bomba activades al mateix temps que s'activin les d'entrada de l'intercanviador. Alhora s'activeran la vàlvula i la bomba de sortida de l'aigua calenta que es conduiran fins al sistema de refrigeració per a ser reutilitzada altre cop.

A la sortida de l'intercanviador hi ha instal·lat un detector de concentració en volum d'etanol per a detectar si la concentració d'aquest és la adient. En el cas favorable, s'activarà la vàlvula i la bomba d'entrada als tamisos moleculars, per tant aquestes vindran controlades per al detector de concentració de manera directa. En el cas desfavorable, quan la concentració no superi el mínim en

volum d'etanol especificat, el controlador activarà la vàlvula i la bomba de retorn a la columna de destil·lació per a repetir el procés.

Finalment, un cop detectada l'activació de la vàlvula i la bomba d'entrada als tamisos moleculars s'activarà també la vàlvula i la bomba de sortida d'aquests, que conduirà ja l'etanol fins al tanc d'emmagatzematge i estarà a punt per a la distribució.

Pel que fa al producte que surt per la part inferior de la columna, aigua i sòlids principalment, també és examinat per un detector de concentració en volum d'etanol. Quan aquest detector mesura una concentració del producte per sobre de l'estipulat, el controlador activa la bomba i la vàlvula que condueixen aquest producte fins al tanc d'injecció de vapor per a redirigir-lo a la columna de destil·lació de nou. Si la concentració mesurada per el detector és inferior a la mesurada, el producte es condueix cap al tanc d'emmagatzematge de la vinassa a partir d'una vàlvula que és activada a partir d'aquesta mesura del detector.

Al tanc d'injecció de vapor, hi entra vapor a partir d'una canonada dotada d'una vàlvula, la qual s'activa al activar-se la bomba i la vàlvula d'entrada al tanc. Així quan entra el producte ja es comença a escalfar fins a arribar a una certa temperatura, aquesta ve controlada per un sensor de temperatura ubicat dins el tanc que controlarà la vàlvula de vapor en tot moment segons es la temperatura de l'interior del tanc. Aquest detector de temperatura controlarà també la bomba i la vàlvula de sortida del tanc d'injecció de vapor, que alhora estan ubicades al conducte de retorn a la columna de destil·lació. Per tant, quan el detector estigui marcant la temperatura adequada del producte aquest sortirà del tanc per entrar de nou a la columna de destil·lació i repetir-se el procés.

El sistema disposa d'un selector a l'armari de control per a poder activar el manteniment d'aquest. Activant-se el manteniment es desactiva l'entrada de producte a la columna per tant el sistema en general es para.

El sistema de deshidratació de l'etanol, també està dotat d'un sistema d'emergència. Si en algun moment es polsés la parada d'emergència, no entraria més producte a la columna de destil·lació i a la vegada es desactivaria tot el conjunt de bombes i vàlvules del sistema de deshidratació, en canvi, s'activaria la vàlvula que conduiria el producte de l'interior de la columna cap al tanc d'emergència.

### **6.3.5. Tanc d'emergència**

Per últim, tenim el tanc d'emergència, que és simplement un tanc d'emmagatzematge per al producte provinent dels diversos tancs que hagin estat buidats per una emergència. El producte emmagatzemat al tanc rebrà un tractament per a poder-se introduir de nou al procés.

El conducte pel qual arriba el producte al tanc està dotat d'una vàlvula general, que s'activarà sempre i quan algun dels sistemes d'emergència s'hagi activat. Per tant s'activarà sempre que s'hagi activat alguna altra vàlvula d'emergència d'algun dels tancs prèviament esmentats.

## 6.4. Codificació dels elements i sistemes

A la taula següent es mostrarà la codificació dels elements del sistema de premescla. Tal i com s'ha esmentat anteriorment el tanc de premescla està codificat com a PM.

**Taula 6.1.** Codificació dels elements del sistema de premescla.

Element	Codi	Direcció
LED indicador de funcionament	Led_Fun_PM1	Q0.0
LED indicador de treballs de manteniment	Led_Mant_PM1	Q0.1
Detector de nivell	Nivel_PM1	IW100
Sensor de temperatura	Temp_PM1	IW102
Temporitzador d'etapa de premescla	T_PM1.1	M0.0
Temporitzador d'etapa de cocció	T_PM1.2	M0.1
Temporitzador d'etapa de líquefacció	T_PM1.3	M0.2
Temporitzador d'etapa de rentat	T_PM1.4	M0.3
Temporitzador d'etapa de manteniment	T_PM1.5	M0.4
Motor d'agitació	MOTOR_PM1	Q0.3
Bomba d'injecció de vapor	Bomba_Vapor_PM1	Q0.4
Vàlvula d'injecció de vapor	VAL_VAPOR_PM1	Q1.2
Bomba d'entrada de producte	Bomba_Ent_PM1	Q0.6
Vàlvula d'entrada de producte	Val_Ent_PM1	Q1.4
Bomba d'entrada d'aigua	Bomba_Agua_PM1	Q0.7

Vàlvula d'entrada d'aigua	Val_Agua_PM1	Q1.3
Bomba aigua freda	Bomba_AF_PM1	Q0.2
Vàlvula aigua freda	Val_AF_PM1	Q1.1
Bomba aigua calenta	Bomba_REF_PM1	Q24.0
Vàlvula aigua calenta	Val_REF_PM1	Q23.7
Bomba de sortida de producte	Bomba_Sal_PM1	Q0.5
Vàlvula de sortida de producte	Val_Sal_PM1	Q1.5
Comptador d'operacions	OP1	MW30
Operació premescla	Premezcla_PM1	M1.0
Operació cocció	Cocción_PM1	M1.1
Operació líquüefacció	Licuefacción_PM1	M1.2
Operació rentat	Lavado_PM1	M1.3
Operació manteniment	Mant_PM1	M0.5

A la taula següent es mostrarà la codificació dels elements del sistema de l'intercanviador de calor. Tal i com s'ha esmentat anteriorment l'intercanviador de calor està codificat com a INT1.

**Taula 6.2.** Codificació dels elements del sistema de l'intercanviador de calor.

Element	Codi	Direcció
LED indicador de funcionament	Led_Fun_Int	Q26.7
Bomba d'entrada de producte	Bomba_Ent_Int	Q1.6
Vàlvula d'entrada de producte	Val_Ent_Int	Q2.1
Bomba de sortida de producte	Bomba_Sal_Int	Q2.0
Vàlvula de sortida de producte	Val_Sal_Int	Q2.5

Bomba aigua freda	Bomba_AF_Int	Q1.7
Vàlvula aigua freda	Val_AF_Int	Q2.4
Bomba aigua calenta	Bomba_REF_Int	Q2.2
Vàlvula aigua calenta	Val_REF_Int	Q2.3
Sensor de temperatura	Temp_Int	IW106

A la taula següent es mostrarà la codificació dels elements del sistema de fermentació. Tal i com s'ha esmentat anteriorment els tancs de fermentació estaran codificats com a FERM\*, sent el \* el número del tanc entre l'1 i el 10.

**Taula 6.3.** Codificació dels elements del sistema de fermentació.

Element	Codi	Direcció
Bomba d'entrada de producte general	Bomba_Ent_FERM	Q2.6
Vàlvula d'entrada de producte general	Val_Ent_FERM	Q2.7
Vàlvula d'entrada de producte al tanc 1	Val_Ent_FERM1	Q3.0
Vàlvula d'entrada de producte al tanc 2	Val_Ent_FERM2	Q3.1
Vàlvula d'entrada de producte al tanc 3	Val_Ent_FERM3	Q3.2
Vàlvula d'entrada de producte al tanc 4	Val_Ent_FERM4	Q3.3
Vàlvula d'entrada de producte al tanc 5	Val_Ent_FERM5	Q3.4
Vàlvula d'entrada de producte al tanc 6	Val_Ent_FERM6	Q3.5
Vàlvula d'entrada de producte al tanc 7	Val_Ent_FERM7	Q3.6
Vàlvula d'entrada de producte al tanc 8	Val_Ent_FERM8	Q3.7
Vàlvula d'entrada de producte al tanc 9	Val_Ent_FERM9	Q4.0
Vàlvula d'entrada de producte al tanc 10	Val_Ent_FERM10	Q4.1

Número de tanc	Tanques_Ferm	MW32
Manteniment tanc 1	Mant_FERM1	M1.5
Manteniment tanc 2	Mant_FERM2	M1.6
Manteniment tanc 3	Mant_FERM3	M1.7
Manteniment tanc 4	Mant_FERM4	M2.0
Manteniment tanc 5	Mant_FERM5	M2.1
Manteniment tanc 6	Mant_FERM6	M2.2
Manteniment tanc 7	Mant_FERM7	M2.3
Manteniment tanc 8	Mant_FERM8	M2.4
Manteniment tanc 9	Mant_FERM9	M2.5
Manteniment tanc 10	Mant_FERM10	M2.6
Detector de nivell del tanc 1	Nivel_FERM1	IW108
Detector de nivell del tanc 2	Nivel_FERM2	IW110
Detector de nivell del tanc 3	Nivel_FERM3	IW112
Detector de nivell del tanc 4	Nivel_FERM4	IW114
Detector de nivell del tanc 5	Nivel_FERM5	IW116
Detector de nivell del tanc 6	Nivel_FERM6	IW118
Detector de nivell del tanc 7	Nivel_FERM7	IW120
Detector de nivell del tanc 8	Nivel_FERM8	IW122
Detector de nivell del tanc 9	Nivel_FERM9	IW124
Detector de nivell del tanc 10	Nivel_FERM10	IW126



Temporitzador de fermentació del tanc 1	T_FERM1	M2.7
Temporitzador de fermentació del tanc 2	T_FERM2	M3.0
Temporitzador de fermentació del tanc 3	T_FERM3	M3.1
Temporitzador de fermentació del tanc 4	T_FERM4	M3.2
Temporitzador de fermentació del tanc 5	T_FERM5	M3.3
Temporitzador de fermentació del tanc 6	T_FERM6	M3.4
Temporitzador de fermentació del tanc 7	T_FERM7	M3.5
Temporitzador de fermentació del tanc 8	T_FERM8	M3.6
Temporitzador de fermentació del tanc 9	T_FERM9	M3.7
Temporitzador de fermentació del tanc 10	T_FERM10	M4.0
Bomba de sortida de producte del tanc 1	Bomba_Sal_FERM1	Q4.2
Bomba de sortida de producte del tanc 2	Bomba_Sal_FERM2	Q4.3
Bomba de sortida de producte del tanc 3	Bomba_Sal_FERM3	Q4.4
Bomba de sortida de producte del tanc 4	Bomba_Sal_FERM4	Q4.5
Bomba de sortida de producte del tanc 5	Bomba_Sal_FERM5	Q4.6
Bomba de sortida de producte del tanc 6	Bomba_Sal_FERM6	Q4.7
Bomba de sortida de producte del tanc 7	Bomba_Sal_FERM7	Q5.0
Bomba de sortida de producte del tanc 8	Bomba_Sal_FERM8	Q5.1
Bomba de sortida de producte del tanc 9	Bomba_Sal_FERM9	Q5.2
Bomba de sortida de producte del tanc 10	Bomba_Sal_FERM10	Q5.3
Vàlvula de sortida de producte del tanc 1	Val_Sal_FERM1	Q5.4

Vàlvula de sortida de producte del tanc 2	Val_Sal_FERM2	Q5.5
Vàlvula de sortida de producte del tanc 3	Val_Sal_FERM3	Q5.6
Vàlvula de sortida de producte del tanc 4	Val_Sal_FERM4	Q5.7
Vàlvula de sortida de producte del tanc 5	Val_Sal_FERM5	Q6.0
Vàlvula de sortida de producte del tanc 6	Val_Sal_FERM6	Q6.1
Vàlvula de sortida de producte del tanc 7	Val_Sal_FERM7	Q6.2
Vàlvula de sortida de producte del tanc 8	Val_Sal_FERM8	Q6.3
Vàlvula de sortida de producte del tanc 9	Val_Sal_FERM9	Q6.4
Vàlvula de sortida de producte del tanc 10	Val_Sal_FERM10	Q6.5
Temporitzador de manteniment del tanc 1	T_Mant_FERM1	M4.1
Temporitzador de manteniment del tanc 2	T_Mant_FERM2	M4.2
Temporitzador de manteniment del tanc 3	T_Mant_FERM3	M4.3
Temporitzador de manteniment del tanc 4	T_Mant_FERM4	M4.4
Temporitzador de manteniment del tanc 5	T_Mant_FERM5	M4.5
Temporitzador de manteniment del tanc 6	T_Mant_FERM6	M4.6
Temporitzador de manteniment del tanc 7	T_Mant_FERM7	M4.7
Temporitzador de manteniment del tanc 8	T_Mant_FERM8	M5.0
Temporitzador de manteniment del tanc 9	T_Mant_FERM9	M5.1
Temporitzador de manteniment del tanc 10	T_Mant_FERM10	M5.2
LED indicador de manteniment al tanc 1	Led_Mant_FERM1	Q6.6
LED indicador de manteniment al tanc 2	Led_Mant_FERM2	Q6.7

LED indicador de manteniment al tanc 3	Led_Mant_FERM3	Q7.0
LED indicador de manteniment al tanc 4	Led_Mant_FERM4	Q7.1
LED indicador de manteniment al tanc 5	Led_Mant_FERM5	Q7.2
LED indicador de manteniment al tanc 6	Led_Mant_FERM6	Q7.3
LED indicador de manteniment al tanc 7	Led_Mant_FERM7	Q7.4
LED indicador de manteniment al tanc 8	Led_Mant_FERM8	Q7.5
LED indicador de manteniment al tanc 9	Led_Mant_FERM9	Q7.6
LED indicador de manteniment al tanc 10	Led_Mant_FERM10	Q7.7
Bomba d'àcid sulfúric general	Bomba_AS_FERM	Q8.0
Vàlvula d'àcid sulfúric general	Val_AS_FERM	Q18.5
Vàlvula d'àcid sulfúric del tanc 1	Val_AS_FERM1	Q8.1
Vàlvula d'àcid sulfúric del tanc 2	Val_AS_FERM2	Q8.2
Vàlvula d'àcid sulfúric del tanc 3	Val_AS_FERM3	Q8.3
Vàlvula d'àcid sulfúric del tanc 4	Val_AS_FERM4	Q8.4
Vàlvula d'àcid sulfúric del tanc 5	Val_AS_FERM5	Q8.5
Vàlvula d'àcid sulfúric del tanc 6	Val_AS_FERM6	8.6
Vàlvula d'àcid sulfúric del tanc 7	Val_AS_FERM7	Q8.7
Vàlvula d'àcid sulfúric del tanc 8	Val_AS_FERM8	Q9.0
Vàlvula d'àcid sulfúric del tanc 9	Val_AS_FERM9	Q9.1
Vàlvula d'àcid sulfúric del tanc 10	Val_AS_FERM10	9.2
Bomba de glucosa general	Bomba_Gluco_FERM	Q9.3

Vàlvula de glucosa general	Val_Gluco_FERM	Q18.6
Vàlvula de glucosa del tanc 1	Val_Gluco_FERM1	Q9.4
Vàlvula de glucosa del tanc 2	Val_Gluco_FERM2	Q9.5
Vàlvula de glucosa del tanc 3	Val_Gluco_FERM3	Q9.6
Vàlvula de glucosa del tanc 4	Val_Gluco_FERM4	Q9.7
Vàlvula de glucosa del tanc 5	Val_Gluco_FERM5	Q10.0
Vàlvula de glucosa del tanc 6	Val_Gluco_FERM6	Q10.1
Vàlvula de glucosa del tanc 7	Val_Gluco_FERM7	Q10.2
Vàlvula de glucosa del tanc 8	Val_Gluco_FERM8	Q10.3
Vàlvula de glucosa del tanc 9	Val_Gluco_FERM9	Q10.4
Vàlvula de glucosa del tanc 10	Val_Gluco_FERM10	Q10.5
Bomba de llevat general	Bomba_Lev_FERM	Q10.6
Vàlvula de llevat general	Val_Lev_FERM	Q18.7
Vàlvula de llevat del tanc 1	Val_Lev_FERM1	Q10.7
Vàlvula de llevat del tanc 2	Val_Lev_FERM2	Q11.0
Vàlvula de llevat del tanc 3	Val_Lev_FERM3	Q11.1
Vàlvula de llevat del tanc 4	Val_Lev_FERM4	Q11.2
Vàlvula de llevat del tanc 5	Val_Lev_FERM5	Q11.3
Vàlvula de llevat del tanc 6	Val_Lev_FERM6	Q11.4
Vàlvula de llevat del tanc 7	Val_Lev_FERM7	Q11.5
Vàlvula de llevat del tanc 8	Val_Lev_FERM8	Q11.6

Vàlvula de llevat del tanc 9	Val_Lev_FERM9	Q11.7
Vàlvula de llevat del tanc 10	Val_Lev_FERM10	Q12.0
LED de funcionament del tanc 1	Led_Fun_FERM1	Q12.1
LED de funcionament del tanc 2	Led_Fun_FERM2	Q12.2
LED de funcionament del tanc 3	Led_Fun_FERM3	Q12.3
LED de funcionament del tanc 4	Led_Fun_FERM4	Q12.4
LED de funcionament del tanc 5	Led_Fun_FERM5	Q12.5
LED de funcionament del tanc 6	Led_Fun_FERM6	Q12.6
LED de funcionament del tanc 7	Led_Fun_FERM7	Q12.7
LED de funcionament del tanc 8	Led_Fun_FERM8	Q13.0
LED de funcionament del tanc 9	Led_Fun_FERM9	Q13.1
LED de funcionament del tanc 10	Led_Fun_FERM10	Q13.2
Bomba de sortida general	Bomba_Sal_FERM	Q13.3
Vàlvula de sortida general	Val_Sal_FERM	Q13.4
Bomba d'aigua freda del tanc 1	Bomba_AF_FERM1	Q13.5
Bomba d'aigua freda del tanc 2	Bomba_AF_FERM2	Q13.6
Bomba d'aigua freda del tanc 3	Bomba_AF_FERM3	Q13.7
Bomba d'aigua freda del tanc 4	Bomba_AF_FERM4	Q14.0
Bomba d'aigua freda del tanc 5	Bomba_AF_FERM5	Q14.1
Bomba d'aigua freda del tanc 6	Bomba_AF_FERM6	Q14.2
Bomba d'aigua freda del tanc 7	Bomba_AF_FERM7	Q14.3

Bomba d'aigua freda del tanc 8	Bomba_AF_FERM8	Q14.4
Bomba d'aigua freda del tanc 9	Bomba_AF_FERM9	Q14.5
Bomba d'aigua freda del tanc 10	Bomba_AF_FERM10	Q14.6
Vàlvula d'aigua freda del tanc 1	Val_AF_FERM1	Q14.7
Vàlvula d'aigua freda del tanc 2	Val_AF_FERM2	Q15.0
Vàlvula d'aigua freda del tanc 3	Val_AF_FERM3	Q15.1
Vàlvula d'aigua freda del tanc 4	Val_AF_FERM4	Q15.2
Vàlvula d'aigua freda del tanc 5	Val_AF_FERM5	Q15.3
Vàlvula d'aigua freda del tanc 6	Val_AF_FERM6	Q15.4
Vàlvula d'aigua freda del tanc 7	Val_AF_FERM7	Q15.5
Vàlvula d'aigua freda del tanc 8	Val_AF_FERM8	Q15.6
Vàlvula d'aigua freda del tanc 9	Val_AF_FERM9	Q15.7
Vàlvula d'aigua freda del tanc 10	Val_AF_FERM10	Q16.0
Bomba d'aigua calenta del tanc 1	Bomba_REF_FERM1	Q16.1
Bomba d'aigua calenta del tanc 2	Bomba_REF_FERM2	Q16.2
Bomba d'aigua calenta del tanc 3	Bomba_REF_FERM3	Q16.3
Bomba d'aigua calenta del tanc 4	Bomba_REF_FERM4	Q16.4
Bomba d'aigua calenta del tanc 5	Bomba_REF_FERM5	Q16.5
Bomba d'aigua calenta del tanc 6	Bomba_REF_FERM6	Q16.6
Bomba d'aigua calenta del tanc 7	Bomba_REF_FERM7	Q16.7
Bomba d'aigua calenta del tanc 8	Bomba_REF_FERM8	Q17.0

Bomba d'aigua calenta del tanc 9	Bomba_REF_FERM9	Q17.1
Bomba d'aigua calenta del tanc 10	Bomba_REF_FERM10	Q17.2
Vàlvula d'aigua calenta del tanc 1	Val_REF_FERM1	Q17.3
Vàlvula d'aigua calenta del tanc 2	Val_REF_FERM2	Q17.4
Vàlvula d'aigua calenta del tanc 3	Val_REF_FERM3	Q17.5
Vàlvula d'aigua calenta del tanc 4	Val_REF_FERM4	Q17.6
Vàlvula d'aigua calenta del tanc 5	Val_REF_FERM5	Q17.7
Vàlvula d'aigua calenta del tanc 6	Val_REF_FERM6	Q18.0
Vàlvula d'aigua calenta del tanc 7	Val_REF_FERM7	Q18.1
Vàlvula d'aigua calenta del tanc 8	Val_REF_FERM8	Q18.2
Vàlvula d'aigua calenta del tanc 9	Val_REF_FERM9	Q18.3
Vàlvula d'aigua calenta del tanc 10	Val_REF_FERM10	Q18.4
Sensor de temperatura del tanc 1	Temp_FERM1	IW160
Sensor de temperatura del tanc 2	Temp_FERM2	IW162
Sensor de temperatura del tanc 3	Temp_FERM3	IW164
Sensor de temperatura del tanc 4	Temp_FERM4	IW166
Sensor de temperatura del tanc 5	Temp_FERM5	IW168
Sensor de temperatura del tanc 6	Temp_FERM6	IW170
Sensor de temperatura del tanc 7	Temp_FERM7	IW172
Sensor de temperatura del tanc 8	Temp_FERM8	IW174
Sensor de temperatura del tanc 9	Temp_FERM9	IW176

Sensor de temperatura del tanc 10	Temp_FERM10	IW178
Motor d'agitació del tanc 1	MOTOR_FERM1	Q27.2
Motor d'agitació del tanc 2	MOTOR_FERM2	Q27.3
Motor d'agitació del tanc 3	MOTOR_FERM3	Q27.4
Motor d'agitació del tanc 4	MOTOR_FERM4	Q27.5
Motor d'agitació del tanc 5	MOTOR_FERM5	Q27.6
Motor d'agitació del tanc 6	MOTOR_FERM6	Q27.7
Motor d'agitació del tanc 7	MOTOR_FERM7	Q28.0
Motor d'agitació del tanc 8	MOTOR_FERM8	Q28.1
Motor d'agitació del tanc 9	MOTOR_FERM9	Q28.2
Motor d'agitació del tanc 10	MOTOR_FERM10	Q28.3

A la taula següent es mostrarà la codificació dels elements del sistema de destil·lació. Tal i com s'ha esmentat anteriorment el sistema de destil·lació està codificat com a DEST.

**Taula 6.4.** Codificació dels elements del sistema de destil·lació.

Element	Codi	Direcció
Bomba d'entrada de producte general	Bomba_Ent_DEST	Q20.5
Vàlvula d'entrada de producte general	Val_Ent_DEST	Q20.6
Vàlvula d'entrada de vapor a la columna	Val_Vapor_DEST	Q20.7
Manteniment	Mant_DEST	Q21.0
LED indicador de treballs de manteniment	Led_Mant_DEST	Q21.1
LED indicador de funcionament	Led_Fun_DEST	Q21.2
Selector de manteniment	SEL_Mant	Q25.7



Bomba aigua freda de l'intercanviador	Bomba_AF_INT2	21.3
Vàlvula aigua freda de l'intercanviador	Val_AF_INT2	22.0
Bomba aigua calenta de l'intercanviador	Bomba_REF_INT2	21.6
Vàlvula aigua calenta de l'intercanviador	Val_REF_INT2	21.7
Bomba de sortida de l'intercanviador	Bomba_Sal_INT2	Q21.4
Vàlvula de sortida de l'intercanviador	Val_Sal_INT2	Q22.1
Vàlvula d'entrada de l'intercanviador	Val_Ent_INT2	Q21.5
Bomba d'entrada de l'intercanviador	Bomba_Ent_INT2	Q22.2
Sensor de temperatura de l'intercanviador	Temp_INT2	IW128
Detector de concentració d'etanol 1	Con_Etanol	IW130
Detector de concentració d'etanol 2	Con_Vinaza	IW132
Bomba d'entrada als tamisos moleculars	Bomba_Ent_Tamices	Q22.4
Vàlvula d'entrada als tamisos moleculars	Val_Ent_Tamices	Q22.3
Bomba de sortida als tamisos moleculars	Bomba_Sal_Tamices	Q22.6
Vàlvula de sortida als tamisos moleculars	Val_Sal_Tamices	Q22.5
Vàlvula de retorn a la columna 1	Val_Retorno1	Q22.7
Vàlvula de retorn a la columna 2	Val_Retorno2	Q23.0
Vàlvula de sortida de la vinassa	Val_Vinaza	Q23.1
Vàlvula d'entrada al tanc d'injecció de vapor	Val_Ent_Herv	Q23.2
Vàlvula de sortida del tanc d'injecció de vapor	Val_Sal_Herv	Q23.3
Bomba d'entrada al tanc d'injecció de vapor	Bomba_Ent_Herv	Q23.4

Bomba de sortida del tanc d'injecció de vapor	Bomba_Sal_Herv	Q23.5
Vàlvula de vapor del tanc d'injecció de vapor	Val_Vapor_Herv	Q23.6
Sensor de temperatura del tanc d'injecció de vapor	Temp_Herv	IW180
Parada d'emergència destil·lació	Seta_DEST	M25.6

A la taula següent es mostrarà la codificació dels elements del sistema d'emergència. Tal i com s'ha esmentat anteriorment el sistema de destil·lació està codificat com a EM.

**Taula 6.4.** Codificació dels elements del sistema d'emergència.

Element	Codi	Direcció
Vàlvula d'emergència general	Val_Em_Gen	Q19.0
Vàlvula d'emergència del tanc de premescla	Val_Em_PM	Q19.1
Vàlvula d'emergència del tanc de fermentació 1	Val_Em_FERM1	Q19.2
Vàlvula d'emergència del tanc de fermentació 2	Val_Em_FERM2	Q19.3
Vàlvula d'emergència del tanc de fermentació 3	Val_Em_FERM3	Q19.4
Vàlvula d'emergència del tanc de fermentació 4	Val_Em_FERM4	Q19.5
Vàlvula d'emergència del tanc de fermentació 5	Val_Em_FERM5	Q19.6
Vàlvula d'emergència del tanc de fermentació 6	Val_Em_FERM6	Q19.7
Vàlvula d'emergència del tanc de fermentació 7	Val_Em_FERM7	Q20.0
Vàlvula d'emergència del tanc de fermentació 8	Val_Em_FERM8	Q20.1
Vàlvula d'emergència del tanc de fermentació 9	Val_Em_FERM9	Q20.2
Vàlvula d'emergència del tanc de fermentació 10	Val_Em_FERM10	Q20.3
Nivell del tanc d'emergència	Nivel_EM	IW136

LED d'emergència general	Led_Em_Gen	Q20.4
LED indicador d'emergència del tanc de premescla	Led_EM_PM1	Q24.1
LED indicador d'emergència del tanc de fermentació 1	Led_EM_FERM1	Q24.2
LED indicador d'emergència del tanc de fermentació 2	Led_EM_FERM2	Q24.3
LED indicador d'emergència del tanc de fermentació 3	Led_EM_FERM3	Q24.4
LED indicador d'emergència del tanc de fermentació 4	Led_EM_FERM4	Q24.5
LED indicador d'emergència del tanc de fermentació 5	Led_EM_FERM5	Q24.6
LED indicador d'emergència del tanc de fermentació 6	Led_EM_FERM6	Q24.7
LED indicador d'emergència del tanc de fermentació 7	Led_EM_FERM7	Q25.0
LED indicador d'emergència del tanc de fermentació 8	Led_EM_FERM8	Q25.1
LED indicador d'emergència del tanc de fermentació 9	Led_EM_FERM9	Q25.2
LED indicador d'emergència del tanc de fermentació 10	Led_EM_FERM10	Q25.3
Parada d'emergència general	Seta_EM_Gen	M25.4
Parada d'emergència tanc de premescla	Seta_EM_PM1	M25.5
Parada d'emergència destil·lació	Seta_DEST	M25.6

Parada d'emergència tanc de fermentació 1	Seta_EM_FERM1	M24.2
Parada d'emergència tanc de fermentació 2	Seta_EM_FERM2	M24.3
Parada d'emergència tanc de fermentació 3	Seta_EM_FERM3	M24.4
Parada d'emergència tanc de fermentació 4	Seta_EM_FERM4	M24.5
Parada d'emergència tanc de fermentació 5	Seta_EM_FERM5	M24.6
Parada d'emergència tanc de fermentació 6	Seta_EM_FERM6	M24.7
Parada d'emergència tanc de fermentació 7	Seta_EM_FERM7	M25.0
Parada d'emergència tanc de fermentació 8	Seta_EM_FERM8	M25.1
Parada d'emergència tanc de fermentació 9	Seta_EM_FERM9	M25.2
Parada d'emergència tanc de fermentació 10	Seta_EM_FERM10	M25.3

Aquests són tots els elements dels diferents sistemes del procés. Cal remarcar que les direccions que comencen amb el prefix I significa que són entrades, ja siguin digitals o analògiques. Les direccions que comencen amb el prefix Q són sortides, i les direccions amb prefix M són marques internes del programa, no són ni entrades ni sortides físiques.

Les parades d'emergència haurien de ser entrades físiques, però com que no es poden simular les parades d'emergència a partir d'un panell HMI ja que no complirien la normativa de seguretat que han de complir totes les parades d'emergència, s'han descrit com una marca interna per a poder-les simular per programa. En el procés real en comptes de ser marques internes serien entrades físiques tal i com s'ha comentat.

## 6.5. Programa del controlador

### 6.5.1. Estructura del programa

Els blocs del programa es poden apreciar a la figura 6.7, on trobem el Main (Programa principal), una funció nombrada intercanviador i diferents blocs de funció per el tanc de premescla, el sistema de fermentació i el sistema de destil·lació. Després s'observen blocs de dades que són àrees de memòria vinculades als diferents blocs de funció que es criden al llarg del programa. Com es pot apreciar hi ha el bloc de dades del tanc de premescla, el bloc de dades per al sistema de destil·lació i 10 blocs de

dades corresponents als 10 tancs de fermentació ja que el bloc de funció de la fermentació s'ha cridat 10 cops al llarg del programa principal. Així queden guardades les dades de cada tanc de fermentació a una zona de memòria i s'optimitza el programa.



**Figura 6.7** Blocs de programa.

La diferència principal entre una FC (funció) i una FB (bloc de funció) és que les FB al cridar-les per programa generen automàticament un DB (bloc de dades) associat a aquesta FB. El perquè de necessitar un bloc de dades associat a la funció és perquè tens parts del programa que s'han de guardar en una memòria per al següent cicle, com podrien ser *Sets* i *Resets* de variables que han de guardar el valor 1 o 0 respectivament de la variable en qüestió.

Per començar l'execució del programa es realitza cíclicament (com si fos un bucle) i s'explica la seva execució a continuació. Per cada cicle de programa, la CPU executa els següents passos:

- La CPU consulta l'estat de les senyals d'entrada i actualitza els valors a la imatge de procés d'entrades (PAE).
- Seqüencialment, la CPU processa les instruccions programades i treballa directament sobre les imatges de procés i no sobre els mòduls d'entrades i sortides.
- La CPU transfereix els estats de sortida des de la imatge del procés de sortides (PAA) als mòduls de sortides digitals o analògics.

Al temps que tarda la CPU a realitzar tots aquests passos, se li diu el temps de cicle o cicle d'*scan*.

Per tant, seguint el que s'ha comentat anteriorment, la CPU comença comprovant l'estat i el valor de totes les senyals d'entrada i els guarda al PAE, aquests valors seran els que s'utilitzaran en el cicle de programa corresponent per a canviar els valors d'altres variables o senyals de sortida durant l'execució del programa.

Així doncs, es comença a executar el programa principal, i a mida que es va executant es troba les diverses funcions i blocs de funcions creades. El primer bloc de funció que es troba és el de premescla, quan arriba a ell, es comença a executar de la següent manera: primer es revisa el bloc de dades associat per a saber el valor de les variables que hi ha guardat, un cop s'ha fet la "foto" de l'estat de les variables, s'executa el programa del bloc de funció i un cop ha acabat es guarda l'estat de les variables un altre cop al bloc de dades associat. Seguidament es torna a executar el programa principal fins que arriba a la funció de l'intercanviador, que simplement s'executa i després d'això el programa principal torna a executar-se a partir de la funció.

A continuació el programa principal es trobarà amb els 10 blocs de funció dels tancs de fermentació, s'executaran de la mateixa manera que s'ha explicat anteriorment per al bloc de funció del tanc de premescla. Es parerà l'execució del programa principal, s'agafarà la foto de l'estat de les variables del tanc en qüestió i s'executarà la funció, un cop acabada es guardarà la foto amb l'estat final de les variables i tornarà a executar-se el programa principal, que es trobarà amb la següent crida del següent bloc de funció dels tancs de fermentació. Així successivament fins que hagi acabat d'executar-se la FB del tanc de fermentació número 10 i el programa principal continuarà executant-se fins a trobar-se amb la FB del sistema de destil·lació, que s'executarà de la mateixa manera que la FB del tanc de premescla i els de fermentació.

Un cop s'hagi acabat d'executar el programa principal, la CPU transferirà els valors de les variables i senyals de sortida als mòduls de sortida i el cicle començarà de nou.

### 6.5.2. Definició dels tipus de dades

Tal i com s'ha mostrat a l'apartat 6.4 de la memòria on hi apareix la codificació dels elements i sistemes, s'ha mostrat la direcció de cada una de les senyals i variables internes del programa. Els diferents tipus de dades que ofereix el Tia Portal també s'han mostrat a l'apartat 5.9.2 de la memòria.

Els diferents tipus de dades del programa són:

- Entrades (Inputs): s'utilitza el prefix / per a la direcció d'aquests tipus de dades. Al programa, s'utilitzen entrades digitals i entrades analògiques.

- Entrades digitals: són entrades que utilitzen només un bit, com els pulsadors o detectors de proximitat per exemple. Tenen dos estats, l'actiu i el no actiu. El primer acostuma a ser un 1 i el segon un 0 en codi binari. En el programa hi ha un parell d'entrades digitals corresponents al pulsador de marxa i el pulsador de parada del procés. Es representen com a I0.0, per exemple.
- Entrades analògiques: aquestes entrades acostumen a ser les que provenen de sensors, transductors, sondes de temperatura per exemple. Són senyals que poden ser de dos tipus: voltatge o corrent. Un exemple seria 0-10 V o 4-20 mA, que serien les més comunes. Aquest tipus de senyals ocupen varis bits, en el programa realitzat la majoria són senyals de 16 bits i es representen com a IW10, per exemple. Ocupen 2 bytes de memòria.
- Sortides (Outputs): s'utilitza el prefix Q per a la direcció d'aquestes dades. Al programa s'utilitzen sortides digitals i sortides analògiques.
  - Sortides digitals: són sortides que ocupen només un bit i podrien ser pilots lluminosos, alarmes sonores, activació d'un terminal d'un variador per a encendre el motor, etc. Segons si la sortida està activa o no activa aquesta tindrà un valor binari d'1 o 0 respectivament. Al programa podem trobar sortides digitals com els pilots LED d'indicació de funcionament d'un tanc, les vàlvules i bombes de les diferents canonades, etc. Es representen com a Q5.1, per exemple.
  - Sortides analògiques: són sortides que ocupen 16 bits normalment. Com a les entrades analògiques també hi ha dos tipus: de voltatge i de corrent. Al programa podrien ser sortides analògiques indicadors de la temperatura del tanc, indicadors del consum de corrent del motor, etc.
- Marques internes del sistema: s'utilitza el prefix M per a la direcció d'aquestes dades. Al programa s'han utilitzat de diferents tipus com marques de bit, marques de *Word*, marques de *Time*, etc. Aquest tipus de dades no tenen cap component físic, només són dades internes del programa, ja sigui per a guardar en memòria alguna entrada o sortida física, per a realitzar operacions internes o per a mostrar simplement dades per pantalla. En el programa s'han utilitzat temporitzadors dels quals es mostra per pantalla el temps transcorregut d'aquests temporitzadors que ha estat emmagatzemat a una marca interna.

### 6.5.3. Seqüències de control

A continuació es detallarà el programa utilitzat per a automatitzar el procés de producció de bioetanol i es mostrarà en forma de imatges per a poder seguir l'explicació del procediment. Està realitzat mitjançant la programació del tipus *ladder* o altrament anomenada diagrama de contactes.

Primer s'explicarà en detall els diferents blocs de funcions i la funció de l'intercanviador per a poder interpretar-los abans de veure'ls cridats al programa principal.

El programa es divideix en segments i cada segment té els seus contactes, les seves bobines i les seves operacions (si s'escau). Els contactes apareixen a la part esquerra del programa i les bobines a la part dreta, poden haver-hi tants contactes en una línia de programació com siguin necessaris, també podrien haver-hi tantes comparacions o altres operacions com fossin necessàries, però només pot haver-hi una bobina per línia. Per a posar més d'una bobina en un segment o que un contacte activi diverses bobines és necessari que aquestes es posin en paral·lel unes de les altres.

### 6.5.3.1. Bloc de funció del sistema de premescla

Al bloc de funció del sistema de premescla veurem que la majoria de variables, sense tenir en compte algunes internes venen precedides d'una # això és perquè aquestes variables són variables locals, que es declaren dins el propi bloc de funció i després quan es crida el bloc se li atorguen les variables globals.

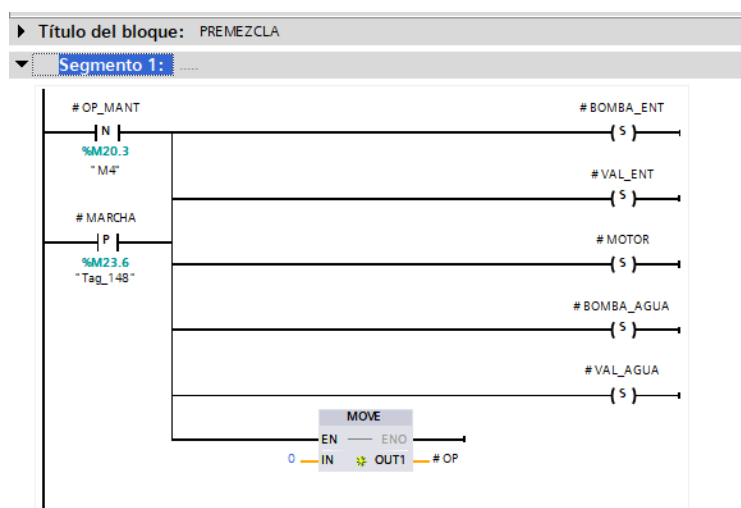


Figura 6.8 Programa del sistema de premescla, part 1.

A la figura anterior, s'aprecia el començament del bloc de funció del sistema de premescla. Al primer segment hi trobem dos contactes en paral·lel que activen diverses bobines i una operació. Aquests contactes són peculiars ja que són flancs, en tenim un de negatiu (va marcat amb la N) i un de positiu (està marcat amb la P). El flanc negatiu s'activa quan l'estat de la variable en qüestió passa de 1 a 0 i al flanc positiu, la variable passa de valor 0 a 1. Els flancs al Tia Portal van lligats cada un a una marca del sistema (en aquest cas la M20.3 per al negatiu i la M23.6 per al positiu) que guardarà el valor del flanc i farà que aquest s'executi només un cop quan la variable en qüestió passi de 0 a 1 o de 1 a 0.



El flanc negatiu opera sobre la variable que indica l'etapa de manteniment del tanc de premescla, per la qual cosa, en el moment que s'acabi l'operació de manteniment aquest flanc s'activarà. El flanc positiu de l'ordre de marxa s'activa just quan es polsi el botó de marxa del procés.

Per tant, en aquest segment quan un dels dos flancs s'activi, activarà les bobines de sortida i realitzarà l'operació que es veu al final de tot del segment. Aquestes bobines també són peculiars, ja que són bobines de SET, quan s'activen aquestes bobines, les variables queden activades fins que es fa un RESET de la variable en qüestió. Les variables de les bobines d'aquest segment són la bomba i la vàlvula d'entrada al tanc, el motor i la bomba i la vàlvula d'entrada d'aigua.

La funció MOVE, guarda el valor de l'entrada (en aquest cas un 0) a la sortida/es, en aquest cas la variable de comptatge de les operacions realitzades pel tanc de premescla.

Per tanc, aquest segment realitza el següent: quan es polsa el botó de marxa del procés, comença a entrar el blat de moro mòlt i l'aigua al tanc i el motor comença a girar, per tant, es comença a omplir el tanc i es comencen a mesclar els productes que hi entren. A més, la variable d'operacions del tanc pren un valor de 0. Això es tornarà a activar quan s'hagi acabat una etapa de manteniment del tanc.

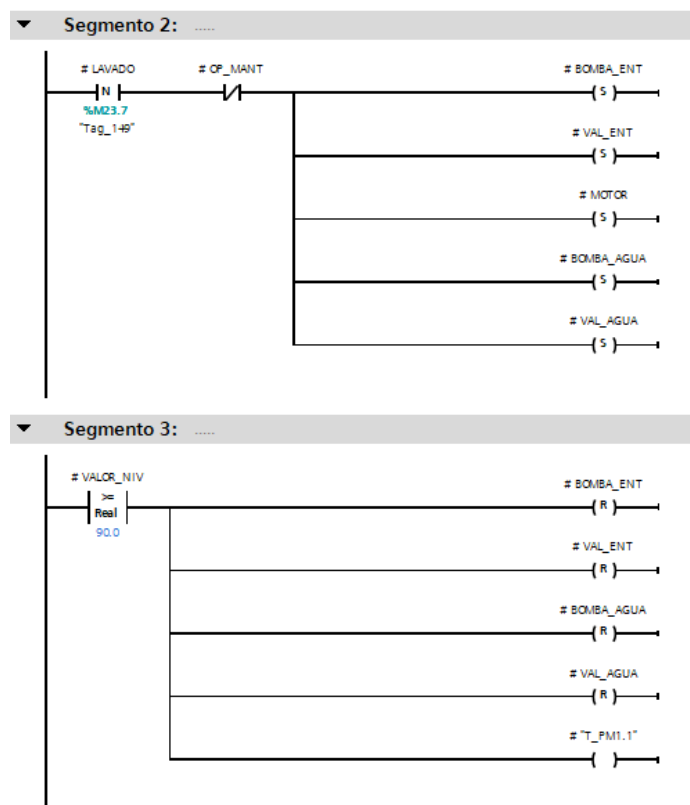


Figura 6.9 Programa del sistema de premescla, part 2.

A la figura anterior es poden visualitzar els segments 2 i 3 del sistema de premescla. Al segment 2 hi tenim un flanc negatiu de la variable d'etapa de neteja del tanc de premescla en sèrie amb un contacte tancat de l'etapa de manteniment. Quan aquestes dos condicions es compleixin, s'hagi acabat l'etapa de fermentació i no estigui a l'etapa de manteniment, s'activaran les bobines pertinents. Aquestes bobines són les mateixes del segment 1 i també són sets (apareix una S a la bobina), es queden activades fins que se'ls hi fa un *reset*.

Al tercer segment, veiem una operació de comparació entre una variable i un nombre real. Aquesta variable és la que indica el nivell del tanc en % de volum, per tant quan el nivell del tanc sigui superior o igual al 90% del volum d'aquest tanc, es farà un *reset* (apareix una R a la bobina) de les variables i s'activarà una bobina que és la que es mostra al final de tot del segment 3.

Aquest segment realitza la funció següent: quan el tanc ha arribat a un nivell del 90%, es desactiven les bombes i les vàlvules d'entrada d'aigua i de blat de moro mòlt, per tant, ja no entra res al tanc, i s'activa una variable (la T\_PM1.1) que quedarà activada fins que el nivell del tanc sigui menor al 90%.

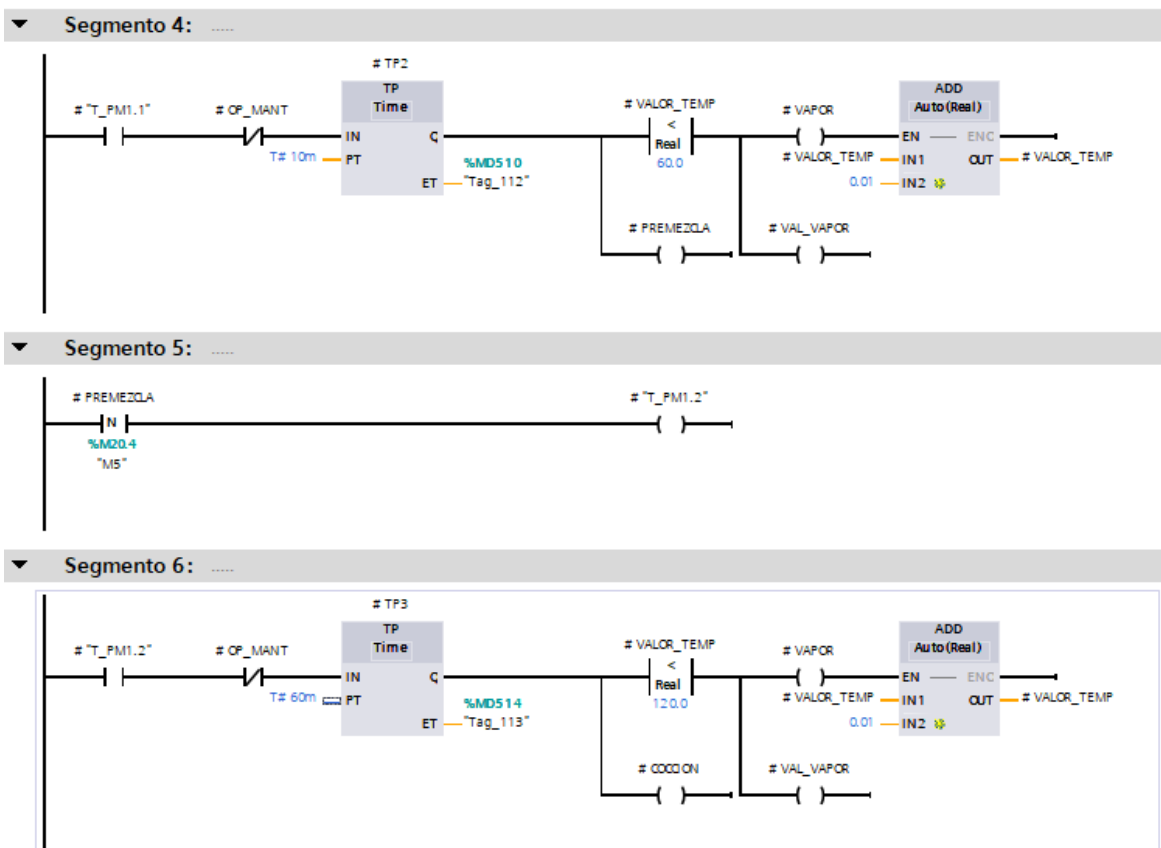


Figura 6.10 Programa del sistema de premescla, part 3.

A la figura 6.10 veiem els següents 3 segments del bloc de funció del sistema de premescla. Al segment 4 hi trobem un contacte de la variable T\_PM1.1 seguit d'un contacte tancat de la variable de l'etapa de manteniment i posteriorment un temporitzador. Aquest temporitzador és del tipus TP (vol dir que s'activa per un impuls). Aquest temporitzador té una duració de 10 minuts i aquest temps es guarda a una marca del sistema (la MD510) per a poder visualitzar el temps per pantalla. Mentre el temporitzador estigui funcionant, s'activarà la bobina de la variable de l'etapa de premescla (mostrarà que actualment s'està realitzant aquesta etapa al tanc), alhora que trobem un comparador per a la temperatura del tanc. Si aquesta temperatura és inferior a la marcada (60,0 °C) mentre el temporitzador està funcionant, s'activarà la bomba i la vàlvula d'injecció de vapor al tanc.

Per a simular que el tanc s'escalfa ja que no disposem de la planta real amb el sensor de temperatura físic, s'introdueix un sumador del valor de temperatura, que suma 0,02°C per a cada cicle d'*scan* del programa.

Aquest segment fa el següent: un cop s'ha activat la variable T\_PM1.1 i està desactivada l'etapa de manteniment, el temporitzador de 10 minuts (duració de l'etapa de premescla) comença a temporitzar i s'activa l'avís de que està realitzant-se l'etapa de premescla. En el cas que la temperatura fos menor als 60,0°C mencionats, començaria a injectar-se vapor al tanc i aquest es començaria a escalfar. Un cop arribés a la temperatura indicada, deixaria d'entrar vapor al tanc.

Al segment 5 simplement es dona un pols de senyal a la variable T\_PM1.2 (la activa durant un petit moment), que és la que activarà el temporitzador de l'etapa de cocció. Això es donarà, quan la variable de l'etapa de premescla es desactivi.

Al segment 6, amb el pols de la variable T\_PM1.2 i amb l'etapa de manteniment desactivada, s'activa el temporitzador de l'etapa de cocció, que té una duració de 60 minuts i guarda el temps de la temporització a la marca interna MD514. Mentre el temporitzador estigui activat (no hagi arribat al límit de temps) s'activarà la variable d'indicació de l'etapa de cocció i de la mateixa manera que s'ha programat al segment 4, si la temperatura del tanc és inferior a 120,0 °C, s'activarà la bomba i la vàlvula d'injecció de vapor al tanc i es simularà l'augment de temperatura sumant 0,02 °C per cada cicle que s'estigui injectant vapor al tanc.

Per tant, un cop hagi finalitzat l'etapa de premescla, s'iniciarà l'etapa de cocció, que tindrà una duració de 60 minuts i la temperatura al tanc pujarà fins als 120,0 °C.

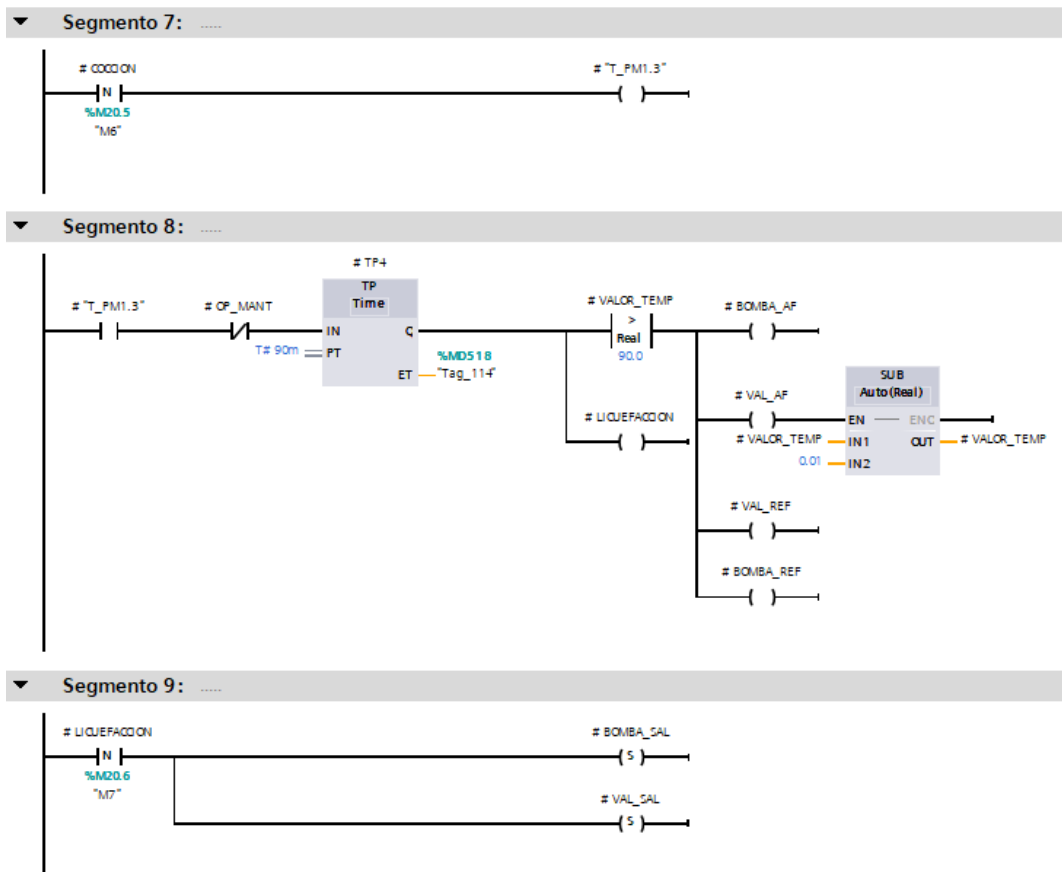


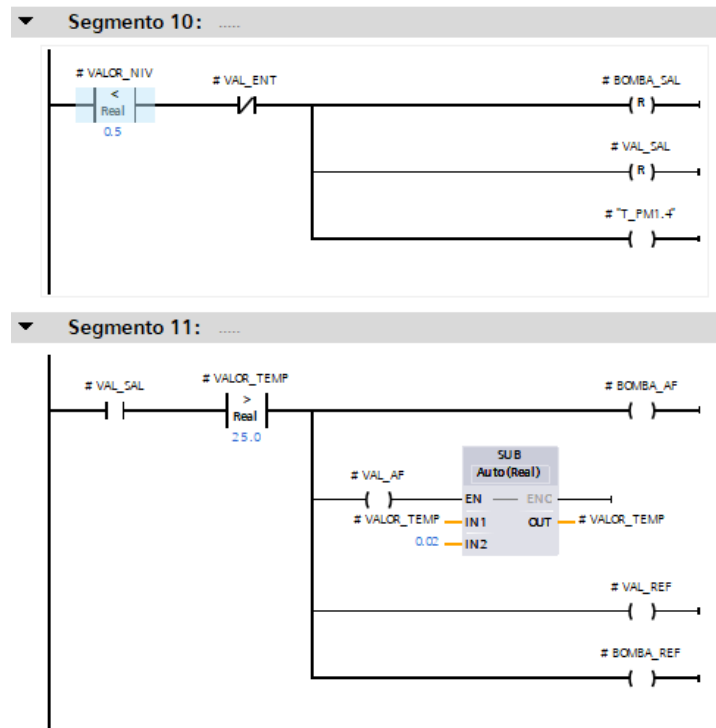
Figura 6.11 Programa del sistema de premescla, part 4.

Al segment 7, simplement es dona un pols de senyal a la variable T\_PM1.3 (la activa durant un petit moment), que és la que activarà el temporitzador de l'etapa de líquefacció. Això es donarà, quan la variable de l'etapa de cocció es desactivi.

Al segment 8, amb el pols de la variable T\_PM1.3 i al no estar a l'etapa de manteniment, s'activarà el temporitzador de l'etapa de líquefacció, que té una duració de 90 minuts i es guarda el valor del temps del temporitzador a la direcció MD518. Aquest temporitzador mentre estigui comptant, s'activarà la variable de l'etapa de líquefacció per a poder mostrar-se que s'està executant aquesta etapa a l'interior del tanc. Alhora, si el valor de temperatura és major a 90,0 °C, s'activen tant la bomba i vàlvula d'aigua freda provinent del sistema de refrigeració com la bomba i vàlvula d'aigua calenta que transporta aquesta fins al sistema de refrigeració. Per a simular la baixada de temperatura al tanc, s'ha programat un restador al valor de la temperatura, que baixa 0,01 °C per a cada cicle d'*scan*.

Finalment, al segment 9, veiem que al desactivar-se la variable d'estat de líquefacció del tanc, s'activen la bomba i la vàlvula de sortida de producte del tanc de premescla.

El funcionament d'aquests segments és el següent: quan s'ha acabat l'etapa de cocció, comença automàticament l'etapa de líquüefacció, que té una duració de 90 minuts i es realitza a una temperatura de 90,0 °C, per això quan la temperatura sigui major, s'activaran les entrades i sortides d'aigua de la camisa de refrigeració per a baixar la temperatura de l'interior del tanc fins a la indicada. Un cop acabada l'etapa de líquüefacció el producte resultant sortirà per les canonades de sortida mitjançant la vàlvula i la bomba de sortida i aniran cap al intercanviador de calor.



**Figura 6.12** Programa del sistema de premescla, part 5.

A la figura 6.12 hi apareixen els segments 10 i 11 del bloc de funció de premescla. Al segment número 10, hi trobem un comparador del valor de nivell seguit d'un contacte tancat de la vàlvula d'entrada de blat de moro molt al tanc i si es compleixen aquestes dos premisses, es desactiven la bomba i vàlvula de sortida i s'activa la variable T\_PM1.4. Per tant, quan el nivell del tanc de premescla sigui de menys del 0,5% i no estigui activa la vàlvula d'entrada, es desactiven la bomba i la vàlvula de sortida de producte del tanc.

Al segment 11, hi tenim un contacte de la vàlvula de sortida del tanc, un comparador per al valor de temperatura del tanc, i complint-se aquestes dos premisses, s'activen les bombes i vàlvules d'entrada i sortida d'aigua a la camisa del tanc.

Per tant, mentre estigui activa la vàlvula de sortida del tanc i la temperatura sigui major a 25,0 °C s'activa la refrigeració de la camisa per a refrigerar el tanc, i amb això a poder realitzar-se el posterior rentat del tanc.

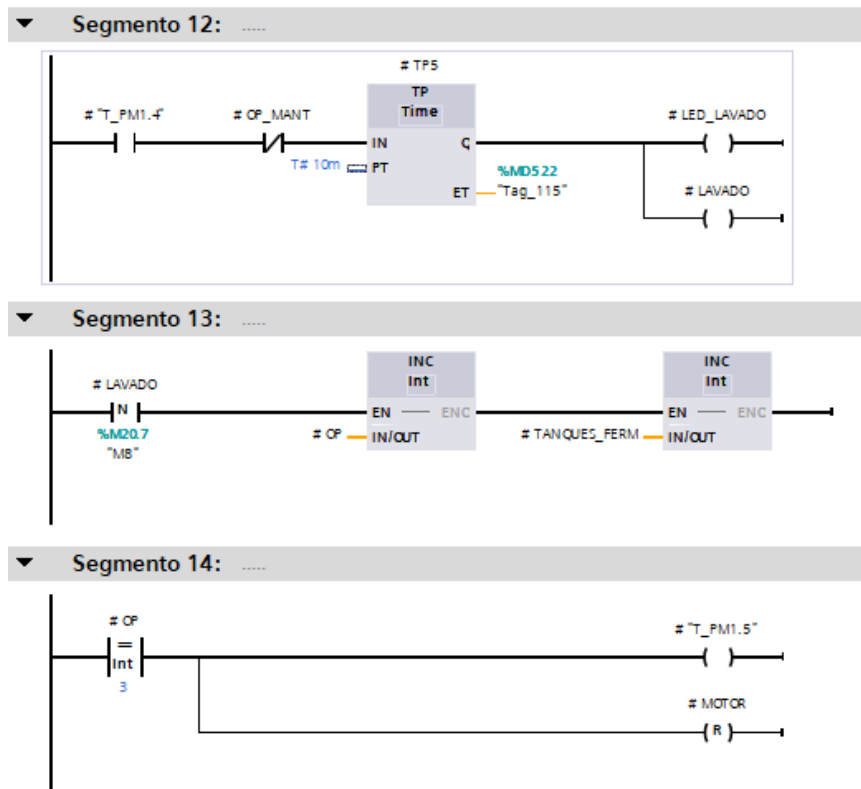


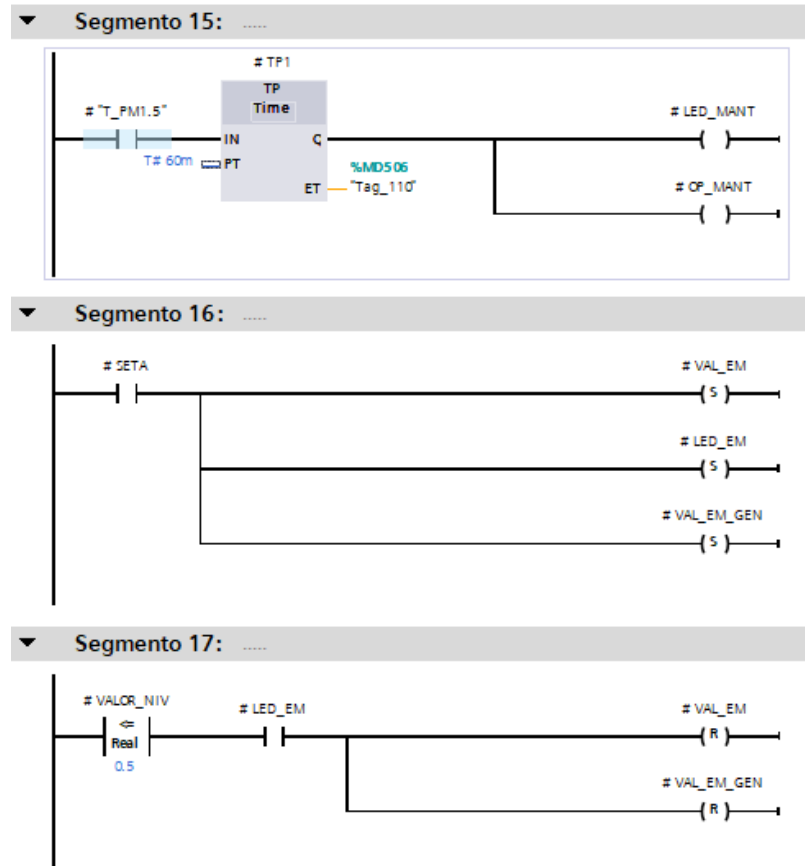
Figura 6.13 Programa del sistema de premescla, part 6.

Al segment 12 hi trobem el contacte de la variable `T_PM1.4` a més del contacte tancat de l'etapa de manteniment en sèrie. Quan aquestes dos es compleixen, s'activa el temporitzador de rentada del tanc de premescla, que té una durada de 10 minuts. Mentre estigui comptant el temporitzador, s'encendran el LED d'indicació de rentada del tanc i també s'activarà la variable de l'etapa de rentada.

En el segment número 13 s'han programat dos increments a variables. Quan hagi acabat l'etapa de rentada del tanc, s'incrementarà un número el valor de les operacions realitzades al tanc de premescla i també s'incrementarà el valor de la variable dels tancs de fermentació. Aquesta última es veurà més endavant, però rebrà un número entre 1 i 10 que marcarà el tanc al qual entrarà el producte provinent del tanc de premescla.

Al segment 14 hi tenim un comparador del nombre d'operacions del procés de premescla i quan aquest valor sigui igual a 3, s'activarà la variable `T_PM1.5` i es parà el motor del tanc.

En conjunt, el que trobem a la figura 6.13 és el següent: quan hi ha un pols a la variable T\_PM1.4, s'activa l'etapa de rentada del tanc de premescla, i al acabar-se aquesta, s'incrementa el nombre d'operacions realitzades al tanc i també el valor dels tancs de fermentació. Després es compara el valor del nombre d'operacions realitzades, i si aquest és igual a 3 (s'han realitzat 3 operacions completes, des de que s'ha omplert fins que s'ha buidat el tanc) es parará el motor i s'activarà la variable T\_PM1.5.



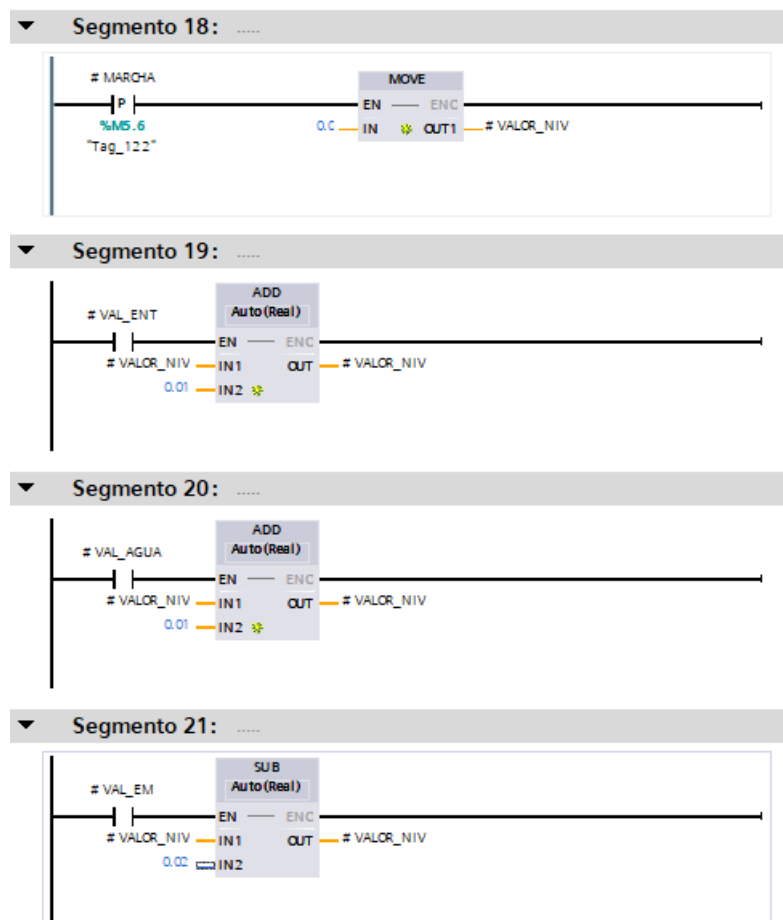
**Figura 6.14** Programa del sistema de premescla, part 7.

En aquesta figura hi trobem els segments 15, 16 i 17 del bloc de funció del sistema de premescla. En el segment número 15, hi trobem el contacte de la variable T\_PM1.5 que activarà el temporitzador de l'etapa de manteniment i que té una duració de 60 minuts. Mentre el temporitzador estigui actiu, es mostrarà un LED indicador de l'etapa de manteniment i la variable de l'etapa de manteniment s'activarà també.

Als segments 16 i 17 hi tenim programat l'estat d'emergència. En el cas que la parada d'emergència del tanc de premescla es polsi, s'activaria la vàlvula de sortida del tanc per casos d'emergència i també s'activaria el LED indicador de l'estat d'emergència i la vàlvula d'emergència general per a que el producte pogués entrar dins el tanc d'emergència.

Quan el valor de nivell del tanc sigui inferior al 0,5% i el LED d'emergència estigui activat, es desactivaria la vàlvula d'emergència de sortida del tanc de premescla i la vàlvula d'emergència general.

En resum, quan s'hagin realitzat 3 operacions completes al tanc de premescla, s'activarà l'etapa de manteniment que té una duració de 60 minuts i amb això s'activarà el LED que indica que el tanc està en manteniment. En el cas que hi hagués una emergència i la parada d'emergència s'hagués polsat, estigui a l'etapa que estigui el tanc, aquest es buidaria mitjançant la vàlvula de sortida d'emergència i quan estigués buit es pararia. El procés no tornaria a funcionar fins que la parada d'emergència es rearmés.



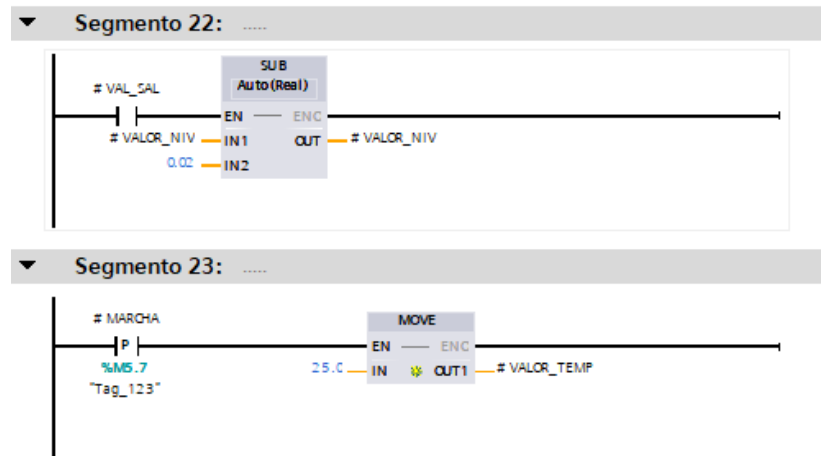
**Figura 6.15** Programa del sistema de premescla, part 8.

Al segment 18 s'ha programat que amb el flanc positiu de la senyal de marxa del procés, es grava un valor de 0,0 al valor de nivell del tanc. Significant que quan es donés la primera ordre de marxa al procés, el nivell inicial del tanc de premescla seria 0.

A continuació, als segments 19, 20 i 21, hi tenim la manera de simular el nivell del tanc de premescla. Amb la vàlvula d'entrada de producte activa es suma 0,01 al valor de nivell del tanc per cada cicle



d'*scan*, el mateix passa amb la vàlvula d'entrada d'aigua, que també suma 0,01 al valor de nivell del tanc. El contrari a la vàlvula de sortida d'emergència, que resta 0,02 al valor de nivell quan està activa.



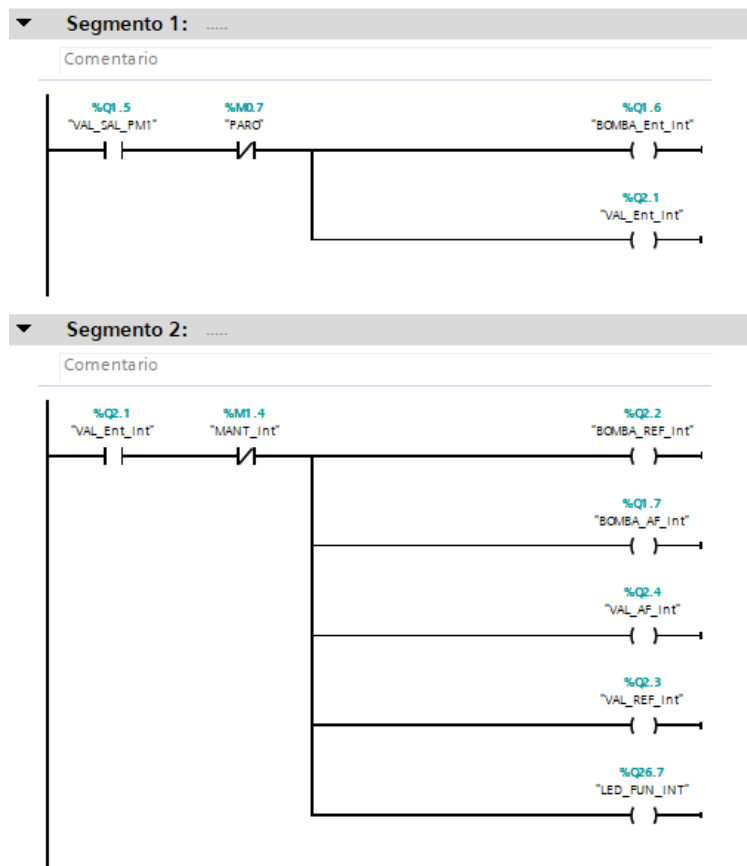
**Figura 6.16** Programa del sistema de premescla, part 9.

Per últim al bloc de funció del sistema de premescla es troben els segments 22 i 23.

Al segment número 22, de la mateixa manera que el 21, es resta 0,02 al valor de nivell del tanc de premescla quan la vàlvula de sortida de producte del tanc està activa.

Al segment número 23, de la mateixa manera que al 18, s'estableix un valor d'inici al valor del sensor de temperatura del tanc per a la simulació. Al començar el procés el valor de temperatura s'inicia a 25,0 °C que és la temperatura ambient.

### 6.5.3.2. Funció de l'intercanviador de calor

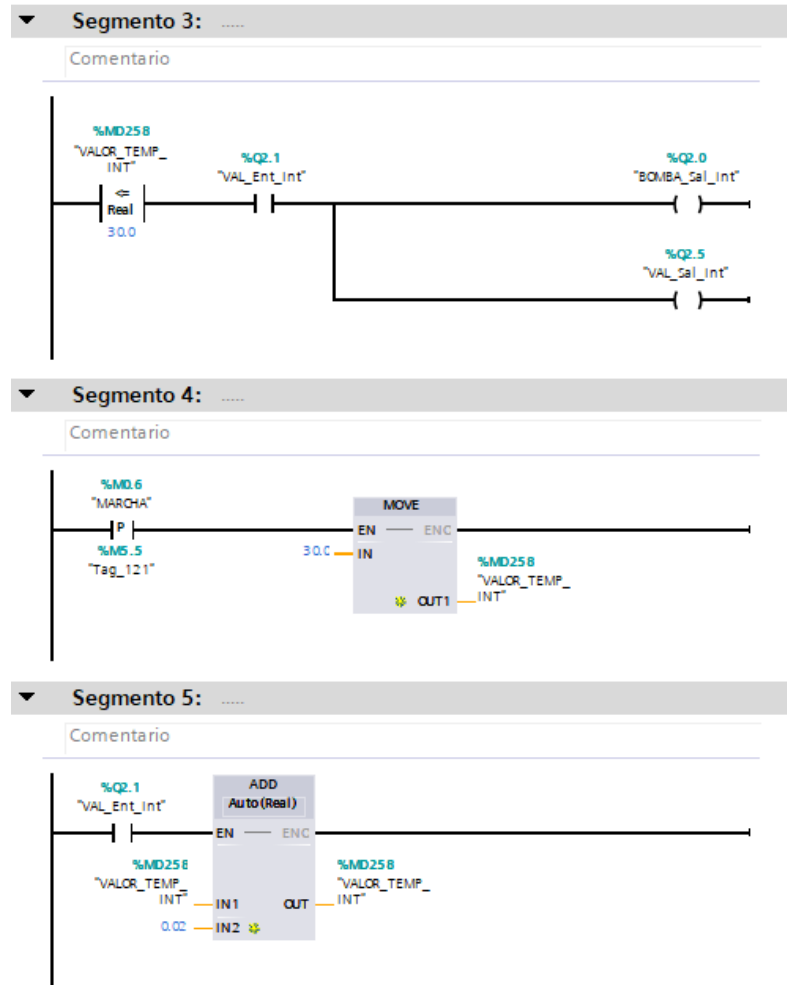


**Figura 6.17** Programa del sistema de l'intercanviador, part 1.

A la funció de l'intercanviador, a diferència dels blocs de funcions com el de premescla, les variables són globals ja que a l'hora de cridar la funció no li indiques cap tipus de variable. Per això podem veure les diferents direccions de les variables.

Al segment 1 de la figura 6.17 es troba un contacte de la vàlvula de sortida del tanc de premescla seguit d'un contacte tancat de la variable de parada del procés. Mentre aquestes dues premisses es compleixen, s'activen la bomba i la vàlvula d'entrada del producte provinent del tanc de premescla a l'intercanviador de calor.

Així doncs, com veiem al segment 2 amb la vàlvula d'entrada de l'intercanviador activada i si es compleix alhora que l'intercanviador no està en manteniment, s'activen les bombes i vàlvules de les entrades i sortides d'aigua que s'utilitza per a refrigerar el producte i que prové del sistema de refrigeració. Alhora mentre es compleixi la condició esmentada, també s'encendrà el LED indicador de funcionament de l'intercanviador de calor.

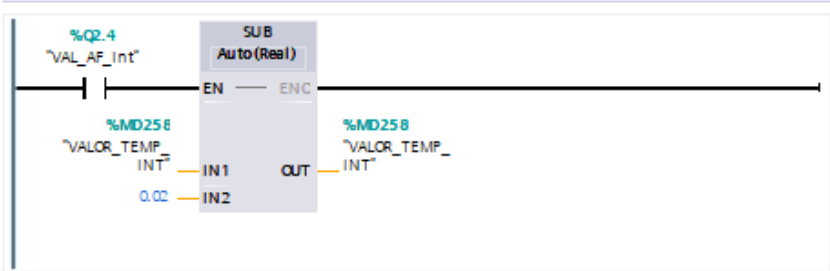


**Figura 6.18** Programa del sistema de l'intercanviador, part 2.

En aquesta figura anterior podem observar els segments 3, 4 i 5. En el primer d'ells, hi tenim una comparació entre el valor de temperatura del sensor ubicat dins l'intercanviador i un valor de consigna. En sèrie a aquest comparador, hi tenim un contacte de la vàlvula d'entrada a l'intercanviador i mentre es compleixin aquestes dos premisses comentades, la vàlvula i la bomba de sortida de l'intercanviador s'activaran per a poder conduir el producte cap al tanc de fermentació on hagi d'entrar.

Al segment 4 hi tenim un flac positiu de la variable de marxa del procés i seguit d'això una funció que traspasa el valor de 30.0 al valor de temperatura del sensor de l'intercanviador per a la simulació del procés, ja que com s'ha comentat anteriorment no disposem de la planta física.

Al segment 5 veiem que quan la vàlvula d'entrada de l'intercanviador està activada, es sumarà a la temperatura un valor de 0,02 °C degut a que el producte entra amb una temperatura superior a la del intercanviador.

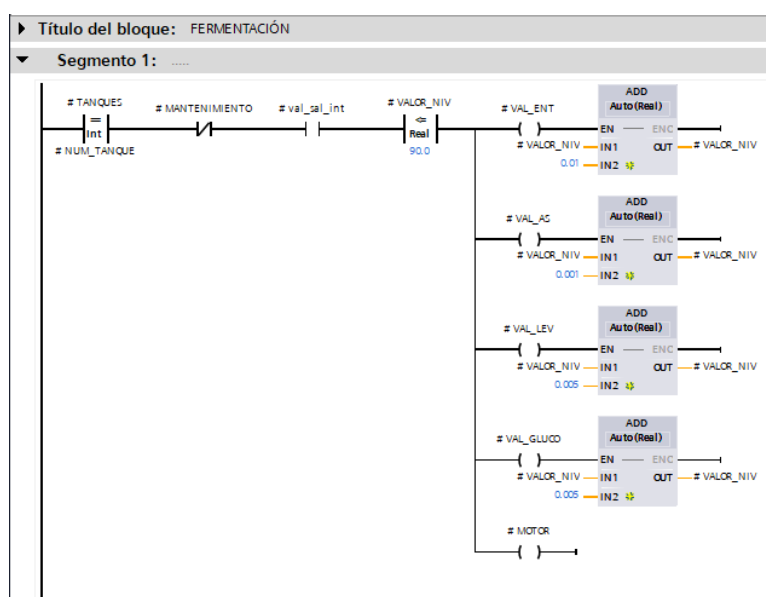


**Figura 6.19** Programa del sistema de l'intercanviador, part 3.

Finalment, a la figura 6.19 observem l'últim segment de la funció de l'intercanviador de calor. Aquest realitza una resta al valor de temperatura de l'intercanviador mentre la vàlvula d'aigua freda d'entrada a l'intercanviador estigui activa.

L'explicació global de la funció de l'intercanviador és la següent: just quan la vàlvula de sortida del producte del tanc de premescla s'activi s'ha d'activar també la bomba i la vàlvula d'entrada a l'intercanviador, i amb això, s'han d'activar les bombes i vàlvules d'aigua freda i calenta del sistema de refrigeració per a refredar el producte. Amb la temperatura correcta, s'activen la bomba i la vàlvula de sortida d'aquest, ja que l'intercanviador només és utilitzat per a baixar la temperatura del producte i així entrar als tancs de fermentació a la temperatura adequada. Tot i això, en principi el producte no s'ha d'aturar mai dins l'intercanviador de calor esperant a refredar-se, ja que el flux d'aigua freda necessari s'ha calculat prèviament i refredarà el producte correctament al seu pas per l'intercanviador.

#### 6.5.3.3. Bloc de funció del sistema de fermentació

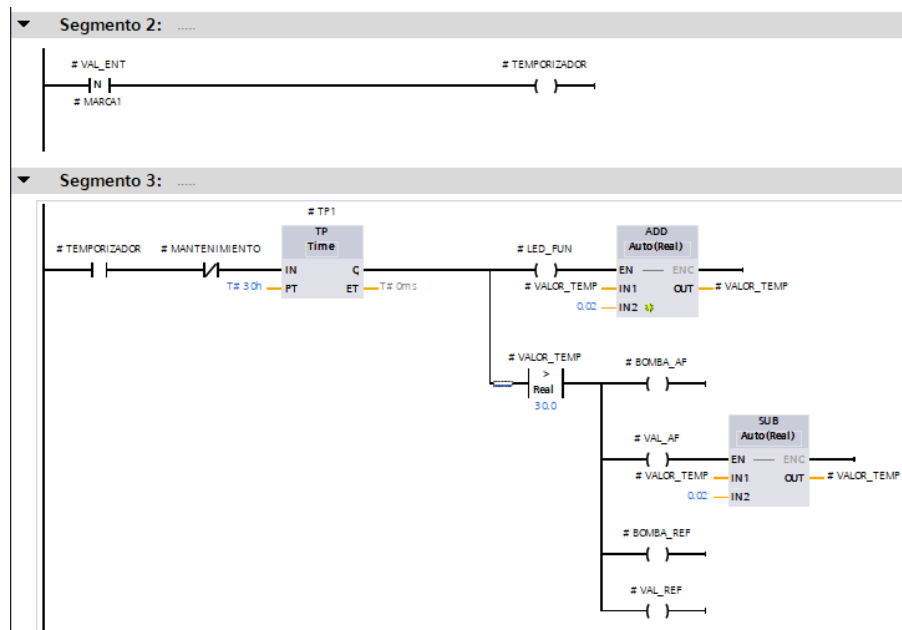


**Figura 6.20** Programa del sistema de fermentació, part 1.

A la figura anterior es pot veure el començament del bloc de funció utilitzat per a automatitzar els tancs de fermentació. Aquest bloc es cridarà fins a 10 cops al programa principal ja que s'utilitzarà el mateix bloc per a tots els tancs de fermentació. Al tractar-se d'un programa repetitiu resulta molt còmode utilitzar aquest tipus de blocs de funcions ja que no has de programar 10 cops el mateix codi de programa.

Al segment número 1 del tanc de fermentació, s'hi troba per començar un comparador per al número de tanc al qual ens trobem, seguit d'un contacte tancat de l'etapa de manteniment del tanc en qüestió i un contacte obert de la vàlvula de sortida de l'intercanviador de calor. A continuació, hi ha un comparador del valor de nivell del tanc al 90% i finalment les bobines de sortida. Aquestes bobines, en paral·lel activen les vàlvules d'entrada tant del producte provinent de l'intercanviador de calor com dels productes que s'afegeixen a les etapes de sacarificació i fermentació com són la glucoamilasa, el llevat i l'àcid sulfúric. Al activar-se aquestes bobines, s'activa també l'augment del nivell del tanc per a poder simular que el tanc s'omple. Cada producte que entra ha de fer-ho amb un volum determinat per això les sumes de cada un d'ells són diferents. A més a més s'activa el motor de pales del tanc de fermentació en qüestió per a començar a agitar la mescla que entra al tanc.

Com a resum, aquest segment realitza el següent: quan el número de tancs de premescla és igual al tanc en qüestió s'activa el comparador, per exemple si s'ha realitzat la primera operació de premescla el número de tancs serà 1, llavors el comparador s'activarà al tanc 1 a la segona operació del tanc de premescla s'activarà el comparador del tanc 2, així successivament. Juntament amb l'activació del comparador, si el tanc no està en etapa de manteniment i la vàlvula de sortida de l'intercanviador està activa, mentre el volum del nivell del tanc sigui inferior o igual al 90%, s'activaran totes les vàlvules de producte del tanc de fermentació i es sumarà al nivell del tanc. Quan el volum del tanc hagi arribat al 90%, les vàlvules es desactivaran ja que com a mínim una de les premisses d'entrada no es complirà.



**Figura 6.21** Programa del sistema de fermentació, part 2.

Al segment 2, hi tenim l'activació de la variable temporitzador que s'activa quan la vàlvula d'entrada passa de l'estat 1 a 0 (es desactiva). Amb la variable de temporitzador activada i al trobar-se fora de l'etapa de manteniment del tanc, s'activa el temporitzador del tanc de fermentació. Aquest té una duració de 30 hores, que és la duració total del procés de fermentació, durant aquestes hores que està comptant el temporitzador, s'activa el LED indicador del funcionament del tanc i s'activa la suma del valor temperatura al tanc, que és de 0,02 °C per a cada cicle d'*scan*. Aquesta suma s'utilitza per a simular que durant el procés de fermentació la temperatura augmenta al pas del temps ja que aquesta operació desprèn calor.

Amb el temporitzador activat, quan el valor de temperatura del tanc és major a 30 °C, s'activen les bombes i vàlvules d'aigua de la camisa de refrigeració. Amb la vàlvula de refrigeració activa, també s'activa una resta del valor de temperatura de 0,02 °C per a cada cicle d'*scan*. Aquesta resta s'utilitza també per a simular que el tanc es refreda al entrar l'aigua freda provinent del sistema de refrigeració.

El funcionament d'aquests segments esmentats és el següent: quan acaba d'entrar el producte al tanc de fermentació i la vàlvula d'entrada es desactiva, s'activa el temporitzador de 30 hores, sempre i quan el tanc no estigui a l'etapa de manteniment. Durant la durada del procés de fermentació, es manté activat el LED indicador del funcionament del tanc per a què l'operari pugui saber quins tancs estan operant, i s'activa la simulació de la pujada de temperatura. Quan la temperatura al tanc sobrepassa els 30,0 °C, s'activen les entrades i sortides d'aigua de la camisa de refrigeració per a tornar a baixar la temperatura del tanc i mantenir-la a la adequada per el procés.

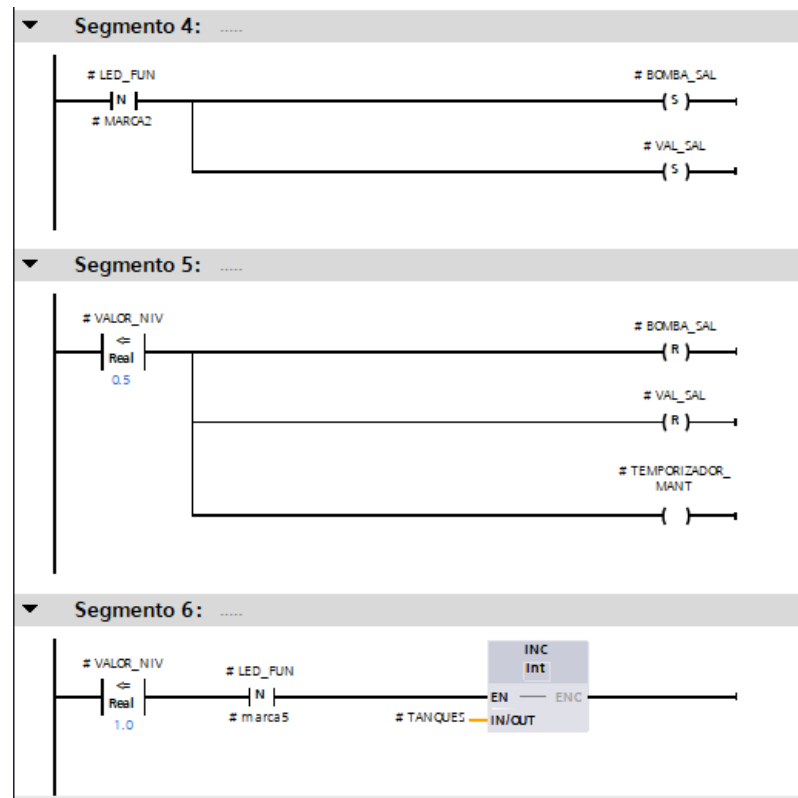


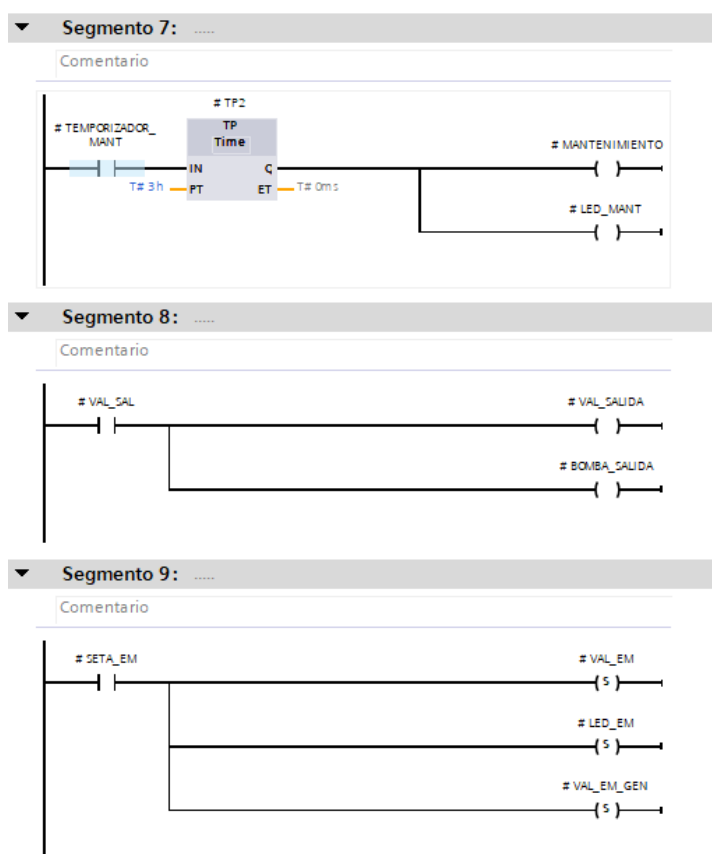
Figura 6.22 Programa del sistema de fermentació, part 3.

A la figura 6.22 trobem els segments 4, 5 i 6 del bloc de funció de fermentació. En el segment 4 hi trobem un flanc negatiu del LED de funcionament del tanc que aplica un *set* a la bomba i la vàlvula de sortida del tanc de fermentació.

Al segment 5, si el comparador del valor de nivell del tanc és menor o igual al 0,5% del volum, s'aplica un *reset* a la bomba i vàlvula de sortida del tanc anteriorment esmentades i s'activa la variable de temporitzador de manteniment.

Al segment 6, hi veiem un comparador del valor de nivell del tanc seguit d'un flanc negatiu del LED indicador de funcionament del tanc i un increment del valor de la variable de tancs de fermentació.

En general aquesta part del procés realitza la extracció del producte ja fermentat, ja que el producte surt quan es desactiva el LED que indica el funcionament del tanc, i aquest LED està encès mentre s'està realitzant l'operació de fermentació. Un cop el producte ha abandonat el tanc, se sap a partir del detector de nivell, es desactiven la bomba i la vàlvula de sortida de producte i s'activa la variable que donarà lloc al temporitzador de manteniment. Alhora en aquesta part, s'incrementa el número indicador dels tancs, per a poder procedir a l'ompliment d'un altre tanc.



**Figura 6.23** Programa del sistema de fermentació, part 4.

Al segment número 7 del bloc de funció hi trobem programada l'etapa de manteniment. Quan la variable de temporitzador de manteniment s'activa, s'activa el temporitzador de 3h que és el que marcarà el temps que el tanc estarà en manteniment. Mentre el temporitzador estigui comptant, s'activarà l'etapa de manteniment del tanc i el LED indicador d'aquesta etapa.

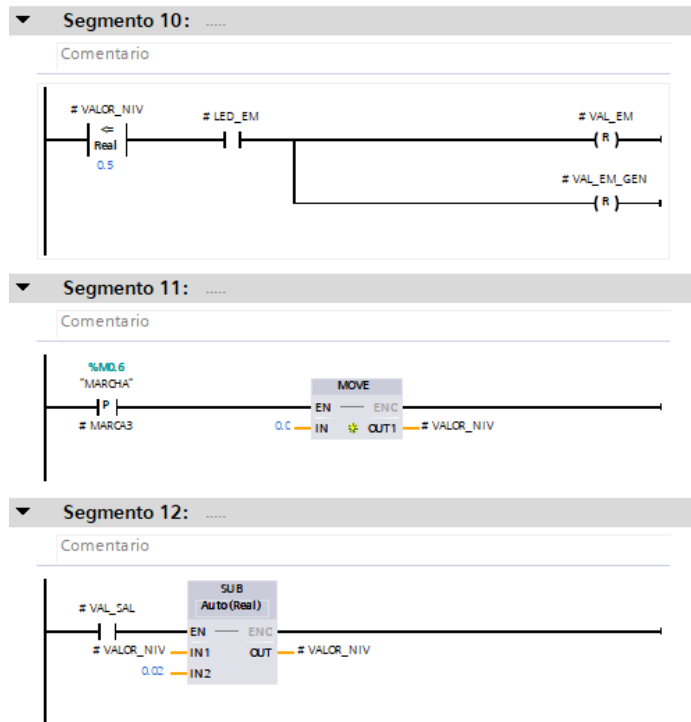
Al segment 8, hi ha programada l'obertura de la bomba i vàlvula de sortida generals del sistema de fermentació, un cop s'activa la vàlvula de sortida d'un tanc en concret, també s'activa la vàlvula i la bomba generals del sistema per a poder conduir el producte sortint cap a la columna de destil·lació.

Al segment 9 s'ha programat el possible cas d'emergència, al prémer la parada d'emergència, aquesta activa tant la vàlvula d'emergència del tanc com la vàlvula d'emergència general del tanc d'emergència i també activa el LED indicador de l'estat d'emergència.

En aquests segments simplement s'ha programat l'etapa de manteniment, que començarà just hagi acabat l'etapa de fermentació i el producte hagi sortit del tanc, aquest manteniment com ja s'ha esmentat, tindrà una duració de 3 hores. S'ha programat també la sortida del producte cap a la columna de destil·lació mitjançant l'obertura de les vàlvules i bombes generals, i s'ha programat el que



passaria en el cas que algun operari polsés la parada d'emergència del tanc en qüestió, aquest es buidaria i s'encendria el LED indicador de l'estat d'emergència.

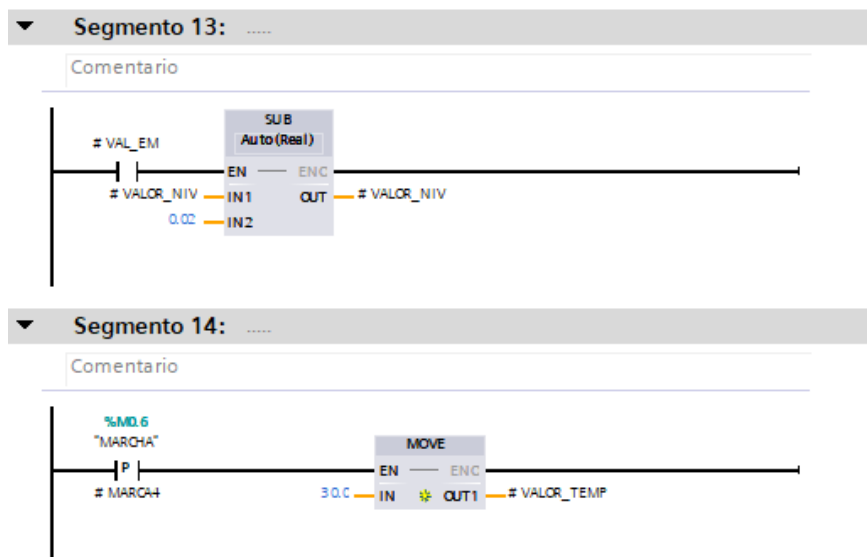


**Figura 6.24** Programa del sistema de fermentació, part 5.

A la figura 6.24 es mostren els segments 10, 11 i 12 del bloc de funció de fermentació. En el segment 10 hi veiem un comparador entre el valor de nivell del tanc i el 0,5% seguit d'un contacte obert de la variable del LED d'emergència. Complint-se que el valor del volum de nivell del tanc de fermentació és inferior al 0,5% i que el LED d'emergència està activa, per tant, ens trobem en l'estat d'emergència, es desactiva la vàlvula de sortida en cas d'emergència del tanc i també la vàlvula d'emergència general.

Al segment 11 hi ha programat el valor inicial del nivell del tanc, que al activar-se el procés s'inicialitzarà a 0. Després, al segment 12 hi tenim programada la simulació del buidat del tanc, al activar-se la vàlvula de sortida del tanc, es resta 0,02% del volum actual del tanc i es guarda altre cop al valor del nivell.

Així doncs, quan el tanc s'ha buidat en el possible cas d'emergència, es desactiven la vàlvula de sortida d'emergència del tanc i també la vàlvula d'emergència general. S'inicialitza el valor de nivell del tanc a 0 al començament del procés i s'estableix la simulació del buidat del tanc quan la vàlvula de sortida està activada.



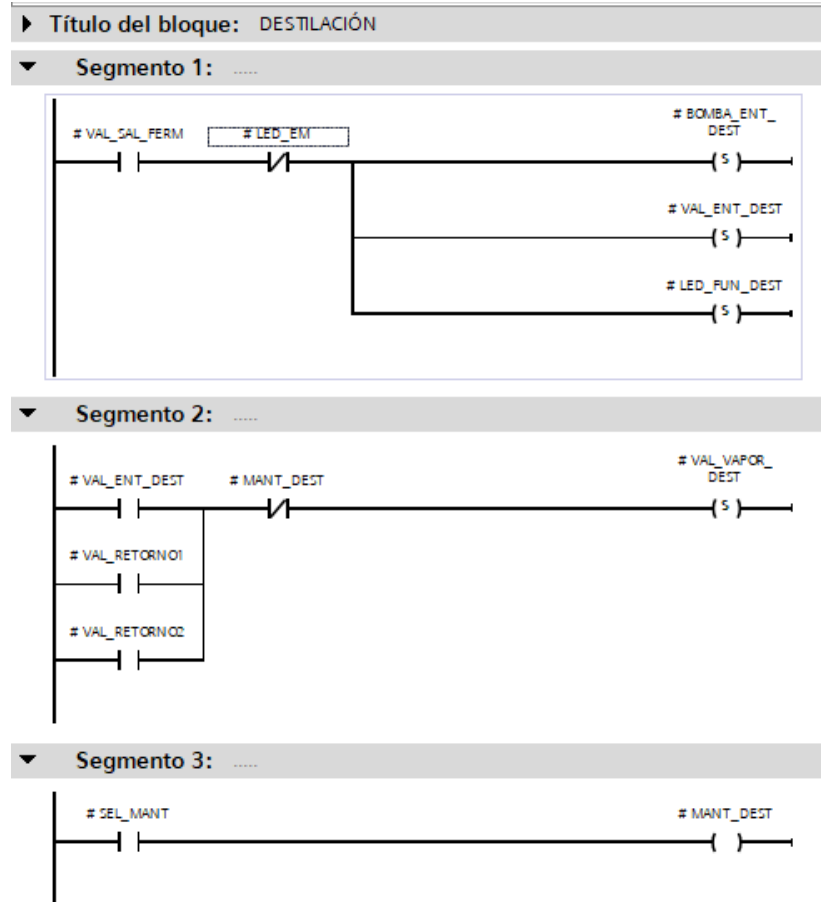
**Figura 6.25** Programa del sistema de fermentació, part 6.

Per últim, tenim els segments 13 i 14, amb els quals es finalitza la programació del bloc de funció del sistema de fermentació. Al segment 13, hi tenim la simulació del buidat del tanc quan està activa la vàlvula de sortida d'emergència. En aquest cas, el nivell baixa un 0,02% per cada cicle d'*scan* fins a arribar al mínim.

Al segment 14 hi tenim programat el valor al qual s'estableix la temperatura del tanc de premescla per a la simulació del procés. Al donar l'ordre de marxa del procés, la temperatura dels tancs de fermentació s'iniciarà a 30,0 °C.

#### 6.5.3.4. Bloc de funció del sistema de destil·lació i deshidratació

A continuació es mostrarà el programa del bloc de funció del sistema de destil·lació i deshidratació amb el qual s'ha automatitzat el funcionament de la columna de destil·lació i els tamisos moleculars entre altres.



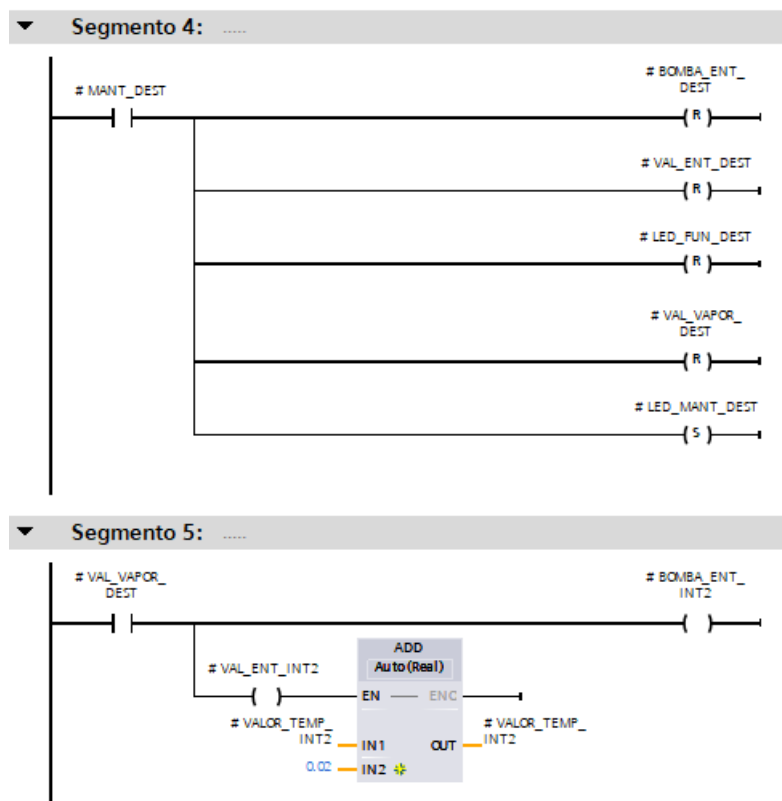
**Figura 6.26** Programa del sistema de destil·lació i deshidratació, part 1.

Al segment 1 del bloc, tenim un contacte obert de la vàlvula de sortida general dels tancs de fermentació i un contacte tancat de l'ordre de parada del procés. A partir d'aquestes dos premisses, s'activen la vàlvula i la bomba d'entrada a la columna de destil·lació així com el LED de funcionament d'aquesta, que indica que la columna està operant. Amb això, obtenim la conducció directe quan s'activa la vàlvula de sortida general del sistema de fermentació ja que s'activa l'entrada a la columna i el producte entra directament.

Al segment 2, hi tenim en paral·lel tres contactes, que amb qualsevol dels tres activats, i sense trobar-se la columna en estat de manteniment, s'activarà la vàlvula d'injecció de vapor a la columna de destil·lació. Aquests contactes són els de la vàlvula d'entrada a la columna i les vàlvules de retorn 1 i la 2.

Al segment 3, hi tenim un contacte obert de la variable del selector de manteniment, que activarà l'etapa de manteniment de la columna. Quan l'operari posi el selector a 1, començarà el manteniment de la columna, fins que es torni a posar el mateix selector a 0.

En altres paraules, en aquests segments, s'ha automatitzat el següent: un cop la vàlvula de sortida general dels tancs de fermentació s'activi (aquesta s'activa amb la sortida de producte de qualsevol dels 10 tancs) s'activaran la bomba i la vàlvula d'entrada de producte a la columna així com el LED indicador de funcionament de la columna. Al mateix temps que estigui entrant el producte, es començarà a injectar vapor a la columna per a escalfar aquest producte fins a l'ebullició de l'alcohol. Amb l'entrada de producte provinent de qualsevol de les dues entrades secundàries també s'injectarà vapor al tanc. Aquestes entrades condueixen el producte que no ha tingut la suficient concentració en alcohol com per arribar als tamisos moleculars o ha tingut més concentració en alcohol que el producte denominat vinassa i per això tornen a la columna, per a reciclar-se i tornar a fer el procés de destil·lació.



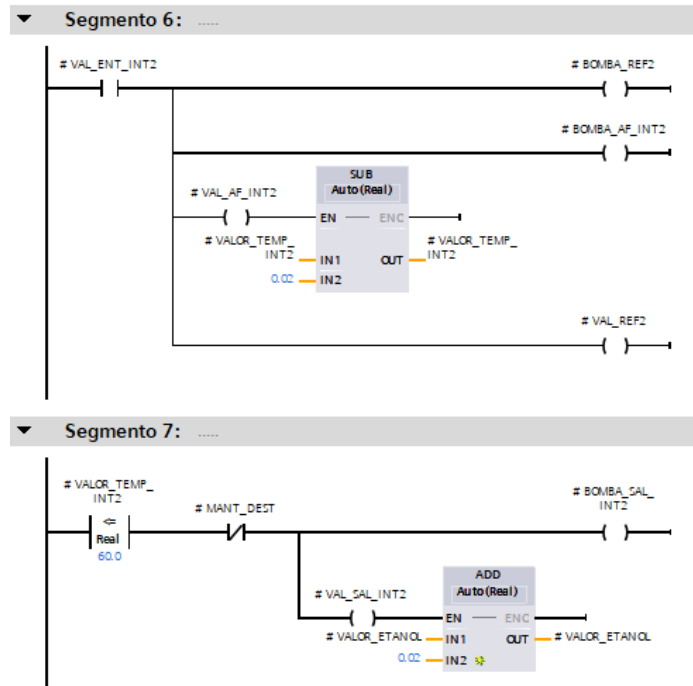
**Figura 6.27** Programa del sistema de destil·lació i deshidratació, part 2.

Amb l'etapa de manteniment activa, tal i com comprovem al segment 4, es desactiven la bomba i la vàlvula d'entrada de producte a la columna al mateix temps que es desactiva el LED de funcionament per activar-se el LED indicador de l'etapa de manteniment. Amb tot això també es desactiva la injecció de vapor a dins la columna.

Al segment 5, hi ha un contacte obert de la vàlvula d'injecció de vapor a la columna que activa la vàlvula d'entrada a l'intercanviador de calor 2 (ubicat al costat de la columna) i també activa la vàlvula d'entrada a l'intercanviador. Amb això, i per a poder simular que l'intercanviador augmenta de

temperatura amb l'entrada de producte, s'ha programat una suma de temperatura al valor de temperatura de l'intercanviador. Es suma un valor de 0,02 °C per a cada cicle d'*scan*.

La vàlvula i la bomba de l'intercanviador s'activaran al activar-se la vàlvula de vapor ja que quan s'activi la injecció de calor dins la columna començarà a sortir per la part superior el etanol evaporat, i ha d'entrar a l'intercanviador per a condensar-se i poder avaluar-se la seva concentració en volum d'alcohol.



**Figura 6.28** Programa del sistema de destil·lació i deshidratació, part 3.

Al segment número 6, hi ha programada l'entrada d'aigua freda del sistema de refrigeració a l'intercanviador i la seva sortida en forma d'aigua calenta cap al sistema de refrigeració. L'activació del contacte obert de la vàlvula d'entrada a l'intercanviador, activa les bombes i les vàlvules d'aigua de l'intercanviador per a refrigerar el producte. Amb l'activació de la vàlvula d'aigua freda, es simula la baixada de temperatura del producte a l'interior de l'intercanviador mitjançant la resta de 0,02 °C al valor del sensor de temperatura.

Al segment 7, hi ha programada la sortida del producte de l'intercanviador a partir d'una verificació de la seva temperatura. Amb la comparació entre el valor de temperatura del producte a l'intercanviador i l'etapa de manteniment desactivada, s'activa la bomba i la vàlvula de sortida de producte de l'intercanviador. Juntament amb l'activació de la vàlvula de sortida, es simula una variació al valor de concentració en volum d'alcohol, en aquest cas, es suma 0,02% en volum d'alcohol per cada cicle d'*scan* al valor de concentració del producte.

En aquests segments es refrigera l'intercanviador de calor i permet refrigerar el producte entrant i a la vegada, amb la comprovació de la temperatura del producte condensat, s'activa la vàlvula i la bomba de sortida del producte de l'intercanviador.

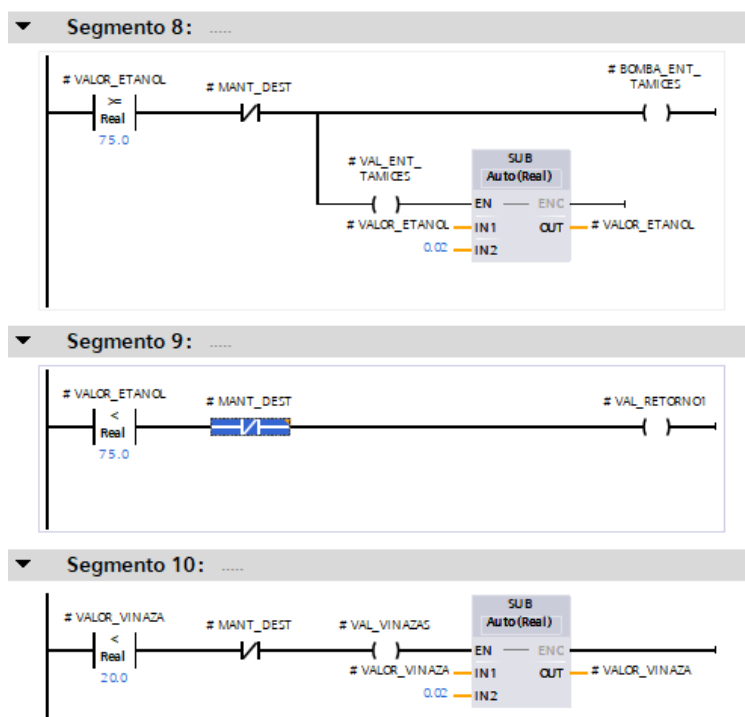


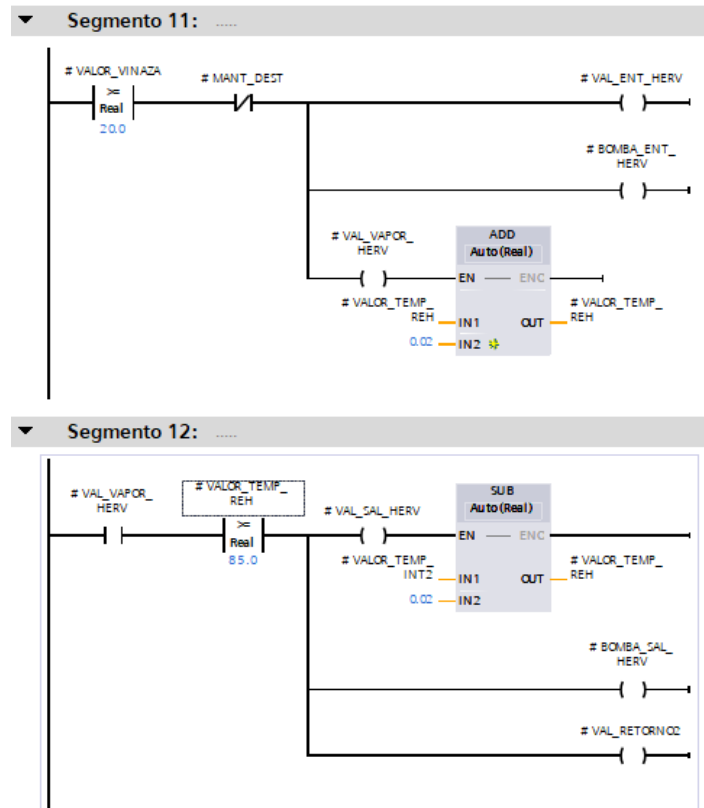
Figura 6.29 Programa del sistema de destil·lació i deshidratació, part 4.

La figura 6.29 ens mostra els segments 8, 9 i 10 del bloc de funció del sistema de destil·lació. En el segment 8, es comprova la concentració en volum d'alcohol del producte que surt de l'intercanviador de calor i al donar-se el cas de que aquesta fos superior al 75,0% i no ens trobéssim en l'etapa de manteniment, s'activarien la bomba i la vàlvula d'entrada als tamisos moleculars. Amb això i per a simular que en alguns moments la concentració en volum d'alcohol del producte serà menor, s'ha programat una resta del valor de concentració en volum d'alcohol del producte de sortida de l'intercanviador.

Al segment 9, hi tenim programat, que en aquest cas esmentat en què el producte tingués una concentració menor al 75,0% d'alcohol, s'activarà la vàlvula de retorn 1, que conduirà el producte novament a la columna de destil·lació per a augmentar-ne la puresa.

Al segment 10, es compara la concentració en volum d'alcohol del producte que surt per la part inferior de la columna, la que no és capaç d'evaporar-se. Si aquesta concentració en alcohol és inferior al 20,0% i l'etapa de manteniment no està activada, s'activa la vàlvula de sortida del producte denominat ja com a vinassa. Aquest és conduït cap al tanc d'emmagatzematge de la vinassa per al seu posterior

tractament. Amb això, també s'activa una resta del valor de concentració en volum d'alcohol del producte de sortida inferior per a simular que part d'aquest serà vinassa i abandonarà el cicle de destil·lació.



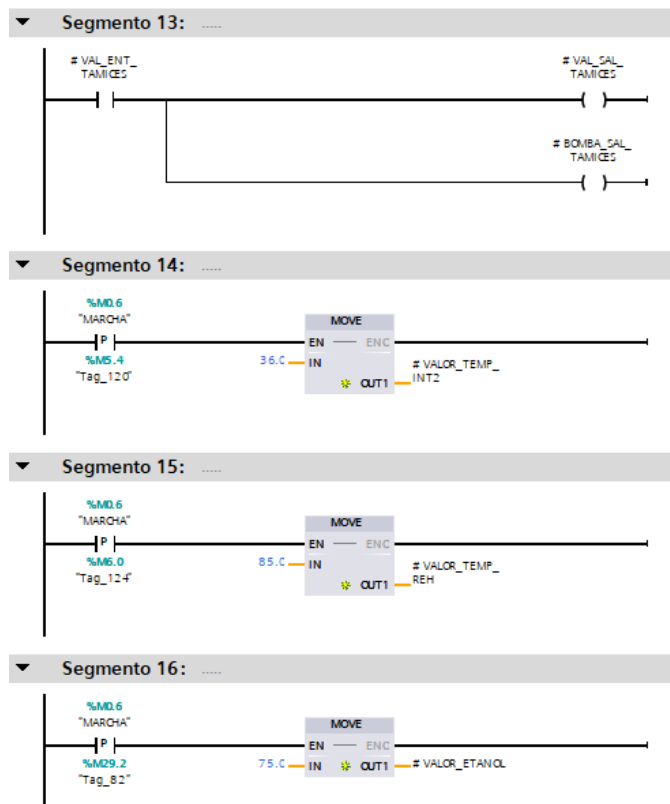
**Figura 6.30** Programa del sistema de destil·lació i deshidratació, part 5.

A la figura 6.30 es mostren els segments 11 i 12 del bloc de funció del sistema de destil·lació. Al segment 11, hi tenim una comparació del valor de concentració en volum d'alcohol seguit d'un contacte tancat de l'etapa de manteniment. Al complir-se aquestes dues premisses s'activen la bomba i la vàlvula d'entrada del tanc d'ebullició i la vàlvula d'injecció de vapor al tanc d'ebullició. Seguit d'aquesta última hi veiem una suma al valor de la temperatura del tanc d'ebullició ja que al entrar el vapor es simula que la temperatura augmenta en 0,02 °C per cicle d'*scan*.

Al segment 12, hi tenim un contacte obert de la vàlvula d'injecció de vapor al tanc d'ebullició i quan aquesta està activa juntament amb una temperatura del producte al tanc d'ebullició major a 85,0 °C, s'activen la vàlvula i la bomba de sortida del producte del tanc d'ebullició així com la vàlvula de retorn 2 que conduirà el producte fins la columna de destil·lació de nou.

En aquests segments, es tracta el producte que no ha estat classificat com a vinassa degut a que la seva concentració en volum d'alcohol era més gran al 20,0% i per això es condueix fins al tanc d'ebullició, on s'escalfarà el producte per a retornar-lo a la columna de destil·lació per a aprofitar l'etanol que conté. Al entrar el producte

i començar-se a escalfar fins a 85,0 °C, també s'activen la bomba i la vàlvula de sortida per a què el producte amb la temperatura adient surti cap a la columna.



**Figura 6.31** Programa del sistema de destil·lació i deshidratació, part 6.

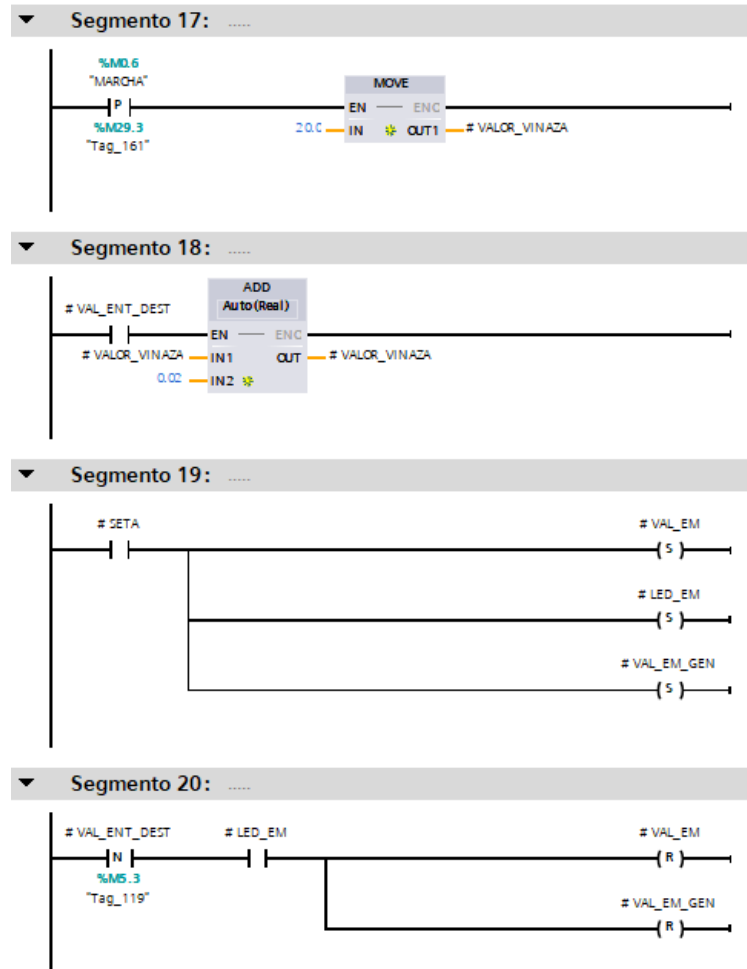
Al segment 13, hi tenim un contacte obert de la vàlvula d'entrada als tamisos que activa la vàlvula i la bomba de sortida d'aquests. Quan el producte comença a entrar als tamisos moleculars, ja s'activen la vàlvula i la bomba de sortida que conduiran l'etanol amb un volum d'alcohol de més del 95% fins al tanc d'emmagatzematge i estarà a punt per a ser distribuït.

Al segment 14, hi trobem el valor inicial que indiquem al valor de temperatura de l'intercanviador de calor 2. Aquest és de 36,0 °C i al moment en que es dona l'ordre de marxa al procés queda establert.

Al segment número 15, passa el mateix que en l'anterior però aquest estableix un valor inicial de 85,0°C al valor de temperatura del sensor del tanc d'ebullició. De la mateixa manera, quan es dona l'ordre de marxa del procés, el valor queda guardat a la variable de temperatura del tanc d'ebullició.

Al segment 16, igual que al 14 i 15, s'estableix un valor al donar-se l'ordre de marxa del procés. En aquest cas, s'inicialitza el valor del sensor de concentració en volum d'etanol en un 75,0%.





**Figura 6.32** Programa del sistema de destil·lació i deshidratació, part 7.

Al segment 17, s'estableix un valor al donar-se l'ordre de marxa del procés. En aquest cas, s'inicialitza el valor del sensor de concentració en volum d'etanol en un 20,0%.

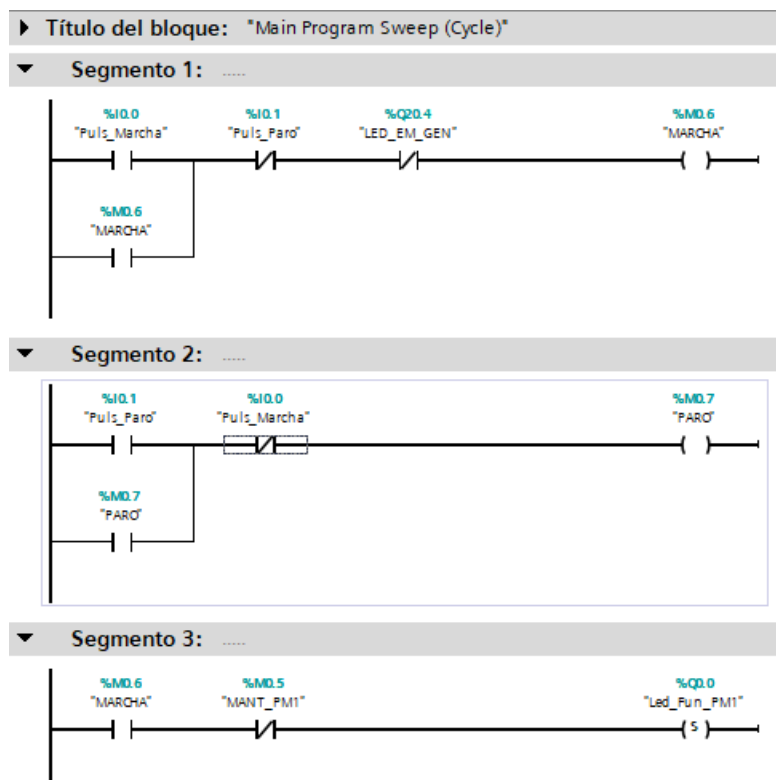
Al segment 18, es suma un 0,02% a la concentració en volum d'etanol per cada cicle d'*scan* quan la vàlvula d'entrada a la columna de destil·lació està activada. Això farà que no sempre el producte tingui un valor inferior ni superior al estipulat i simuli el procés real, ja que al procés real hi haurà moments que el producte contindrà molts sòlids i aigua i se'ls conduirà cap al tanc d'emmagatzematge de vinassa i altres cops que contindrà més volum d'etanol i se'l reconduirà a la columna un altre cop per a una altra separació.

Al segment 19, hi tenim programada la situació d'emergència de la columna de destil·lació, que en polsar-se la parada d'emergència, aquesta activarà la vàlvula de sortida en cas d'emergència de la columna de destil·lació, activarà també la vàlvula d'emergència general situada al tanc d'emergència i s'encendrà el LED indicador de l'estat d'emergència.

Per últim, al segment número 20, amb la desactivació de la vàlvula d'entrada de producte a la columna, mentre el LED d'emergència estigui activat, es desactivaran la vàlvula de sortida d'emergència de la columna i la vàlvula d'emergència general. Amb aquest segment acaba el bloc de funció del sistema de destil·lació i deshidratació de l'etanol.

### 6.5.3.5. Programa principal

A continuació es comentarà el programa principal del procés. Aquest s'executa cíclicament i és l'encarregat de cridar les funcions anteriorment esmentades per a que realitzin el seu propi programa.



**Figura 6.33** Programa principal, part 1.

Al segment 1 hi ha programada l'ordre de marxa del procés, aquesta ve donada per un polsador de marxa que trobarem al quadre de comandament del procés. Al polsar el polsador de marxa, a la vegada que no es manté polsat el polsador de parada i el LED indicador d'emergència general no està actiu, per tant, no hi ha un estat d'emergència, s'activa la marca interna de marxa i mitjançant la seva pròpia retroalimentació, queda activat fins que es polsi el polsador de parada o es polsi la parada d'emergència general. El que vol dir, que amb un sol cop que s'hagi polsat el polsador aquest serà suficient per a què l'ordre de marxa quedi registrada i no es necessiti de polsar contínuament.

Al segment 2 passa el mateix que al segment 1 però referent a la parada del procés. Al pulsar el pulsador de parada, i al no tenir pulsat el pulsador de marxa, s'activa l'estat de parada del procés a partir d'una marca interna que realitza la retroalimentació al segment.

Al segment 3, hi trobem un contacte obert de l'estat de marxa del procés seguit d'un contacte tancat de l'etapa de manteniment del tanc de premescla, i al complir-se aquestes dues premisses s'activa el LED indicador de funcionament del tanc de premescla. Això fa que quan es troba el procés en estat de marxa i el tanc de premescla no està a l'etapa de manteniment, s'activa el LED que indica que el tanc de premescla està en funcionament.

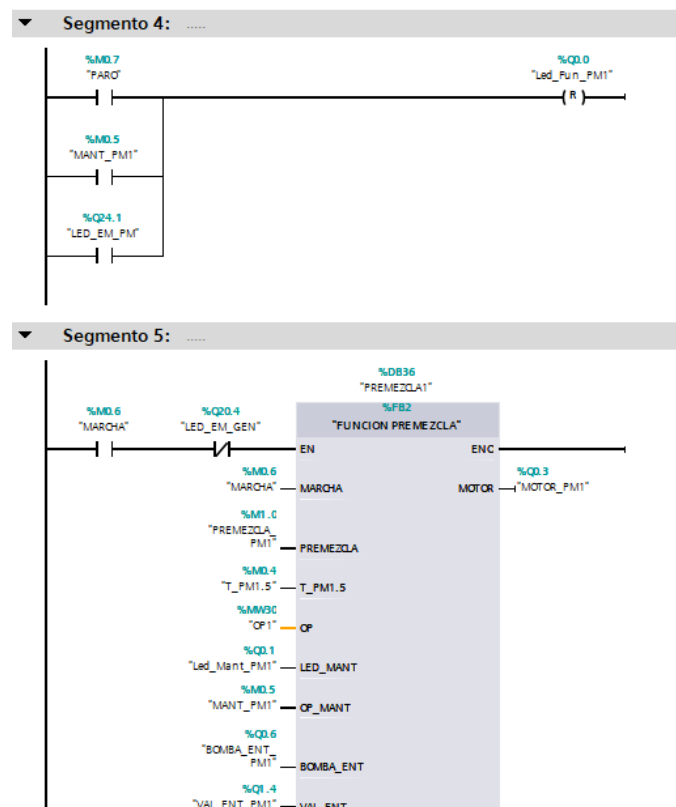


Figura 6.34 Programa principal, part 2.

Al segment 4, hi ha programat el *reset* del LED indicador de funcionament del tanc de premescla quan el procés està parat, el tanc de premescla està en etapa de manteniment o el LED d'emergència del tanc de premescla està encès. Per tant, amb qualsevol d'aquestes premisses el LED de funcionament es desactivarà.

Al segment 5, hi tenim la crida del bloc de funció de premescla. Aquesta crida es fa mentre el procés estigui en marxa, i no estigui el LED d'emergència general activat. Al cridar al bloc de funció, apareixen en un bloc totes les variables d'entrades i sortides que s'han definit localment al bloc i que ara se'ls hi

ha d'associar una variable global. Per exemple, la primera pota de la funció és l'estat de marxa, al bloc de funció no hi havia definida la variable a la qual anava associada aquesta ordre, no hi havia una direcció ni física ni de memòria que donés aquella ordre, però al cridar la funció li hem associat la marca interna del programa que guarda l'estat de marxa del procés. Per tant, ara sí que té una direcció associada que activarà els segments que pertorqui.

Al tractar-se d'un bloc molt llarg, ja que hi ha moltes variables associades al bloc de funció, no es pot mostrar tot en una figura ja que ocupa més del que permet visualitzar la pantalla de l'ordinador. A continuació es mostrarà la continuació del bloc.

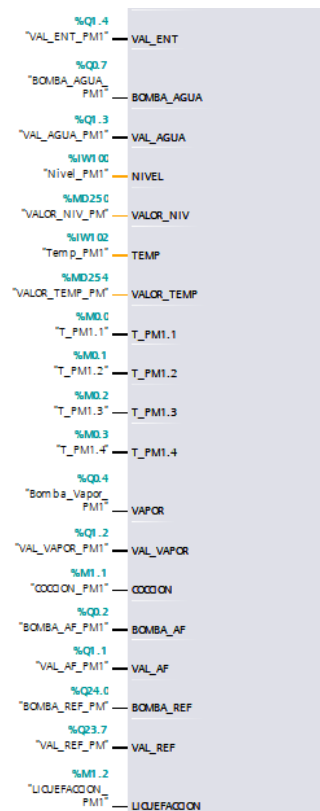


Figura 6.35 Programa principal, part 3.

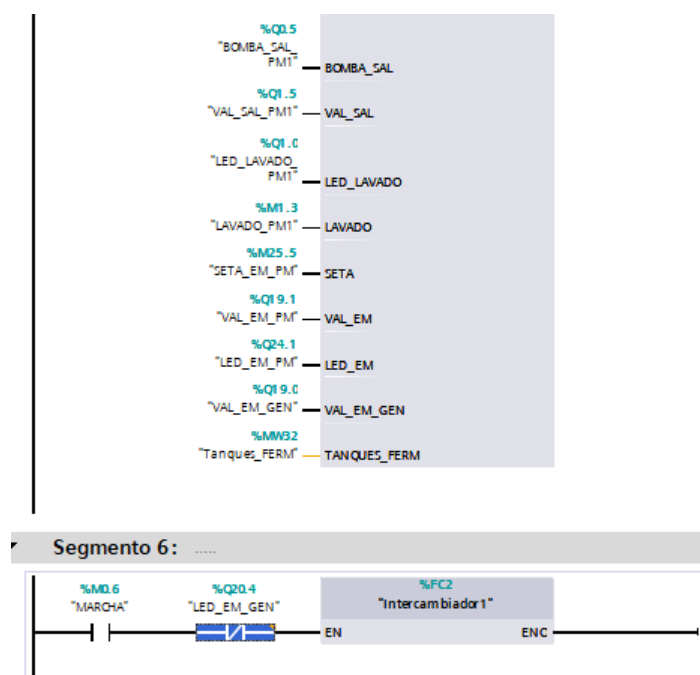
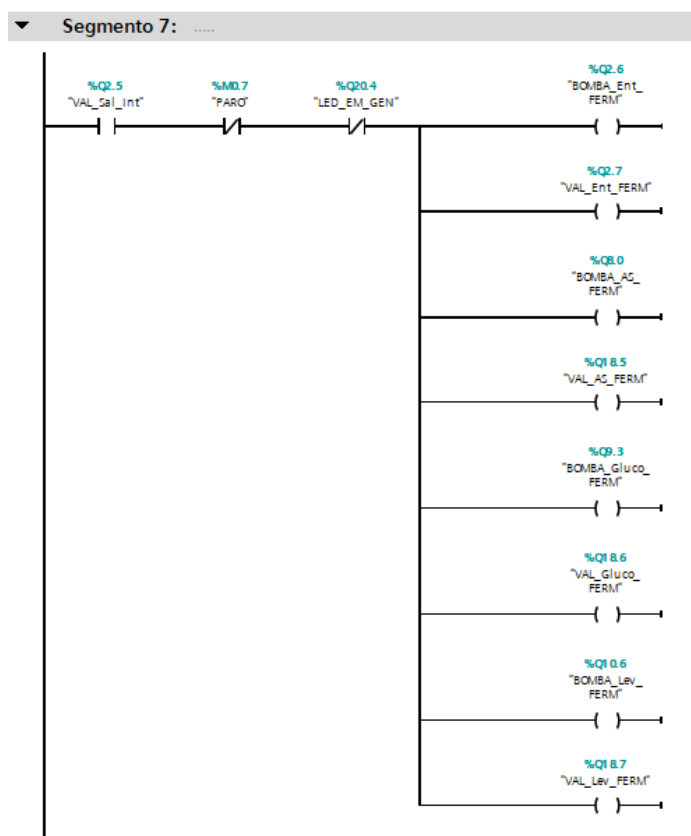


Figura 6.36 Programa principal, part 4.

A la figura 6.36 podem apreciar l'acabament de la crida del bloc de funció de premescla així com la crida de la funció de l'intercanviador al segment 6.

A la crida d'una funció simple, com es pot veure no se li ha d'associar cap mena de variable ja que totes les variables que s'han utilitzat per programar la funció ja són les pròpies variables físiques o internes del programa. Per tant, l'únic que s'aprecia es un petit bloc que quan s'activa es comença a executar el programa de la funció. En el nostre cas, l'activació de la funció de l'intercanviador de calor ve donada per un contacte obert de l'estat de marxa del procés i un contacte tancat del LED d'emergència general en sèrie. Quan el procés està en marxa i no està encès el LED d'emergència general, la funció està activa, per tant, el codi d'aquesta s'executa contínuament.



**Figura 6.37** Programa principal, part 5.

Al segment número 7 del programa principal, hi ha programada l'activació de les vàlvules i bombes generals dels productes d'entrada als tancs de fermentació per a què es condueixin des del seu tanc d'emmagatzematge fins als diferents tancs de fermentació. Amb l'activació de la vàlvula de sortida de l'intercanviador i sense estar parat el procés, juntament amb el LED d'emergència general apagat, s'activen la vàlvula i la bomba generals d'entrada del producte provinent de l'intercanviador al sistema de fermentació per a poder distribuir-se al tanc que pertorqui. Alhora, s'activen també la bomba i la vàlvula generals de l'àcid sulfúric, la glucoamilasa i del llevat.

Aquest segment permet que al detectar que el producte comença a sortir de l'intercanviador, els productes d'entrada als tancs de fermentació es condueixin cap al sistema de fermentació i un cop allà, depenent del tanc al qual hagin d'entrar, s'activarà també la vàlvula d'entrada específica del tanc.

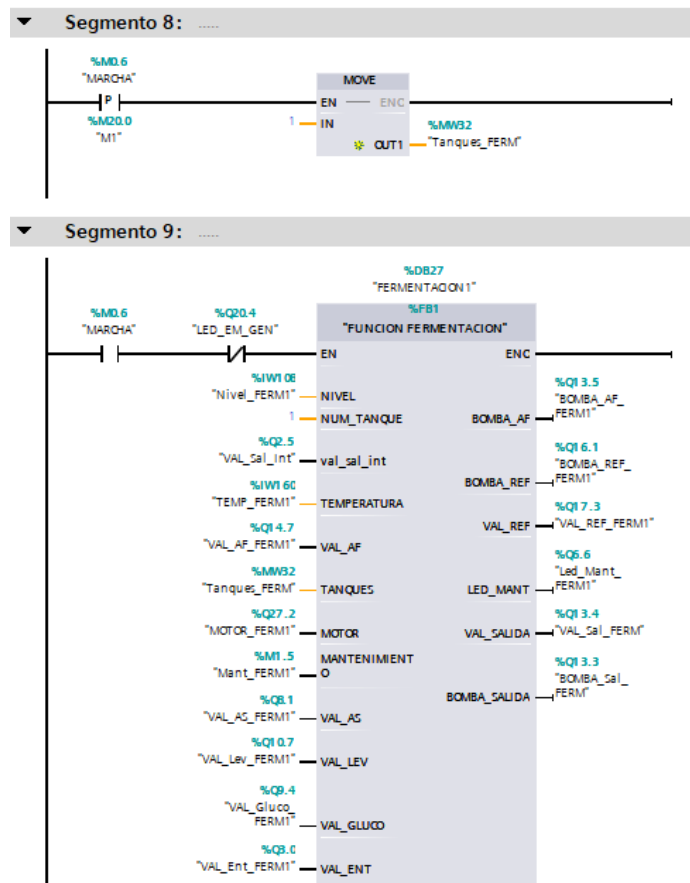


Figura 6.38 Programa principal, part 6.

Al segment 8, hi trobem la inicialització del valor dels tancs de fermentació a 1 mitjançant el flanc ascendent de l'ordre de marxa. Quan es posa en marxa el procés, es guarda el número 1 a la variable del número de tanc de fermentació al qual haurà d'entrar el producte que surti del tanc de premescla en aquell moment. Al primer cycle, el producte entrarà al tanc de fermentació 1, després, tal i com hem vist al bloc de funció de premescla s'incrementarà el número i ja passarà a ser un 2, per tant el producte resultant del segon cycle entrarà al tanc de fermentació número 2. Així successivament fins que tots s'hagin omplert i es torni a comptar des del primer tanc.

Al segment número 9, veiem la crida del bloc de funció del tanc de fermentació, en aquest cas és el tanc número 1. Amb el procés en marxa i no estar encès el LED d'emergència general, s'activa el bloc de funció del tanc de fermentació 1. Passa el mateix que amb el bloc de premescla, es tracta d'un bloc molt llarg i no es pot visualitzar amb una sola figura. A continuació es mostrarà l'altre part del bloc, però al tractar-se d'un bloc que es crida 10 vegades, una per a cada tanc de fermentació, només es mostrarà complet aquest primer.

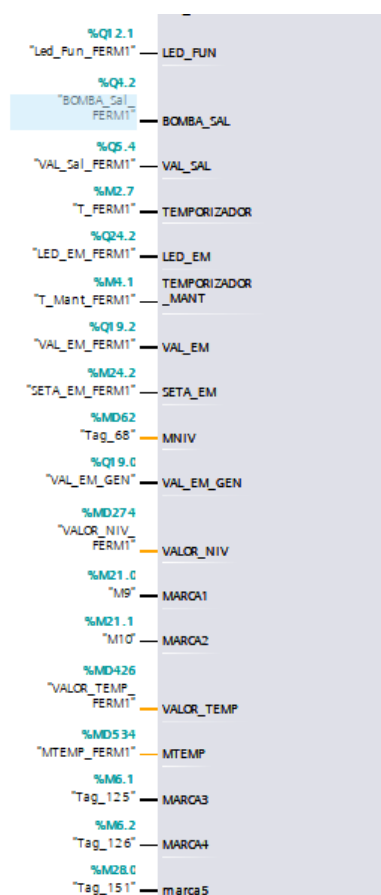


Figura 6.39 Programa principal, part 7.

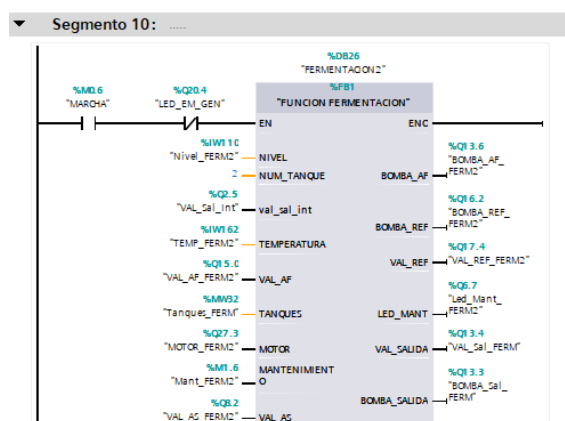


Figura 6.40 Programa principal, part 8.

Tal i com s'ha comentat anteriorment els següents segments són la crida de tots els blocs de funció per als tancs de fermentació i al tractar-se de blocs molt llargs i al ser repetitius no es mostraran.



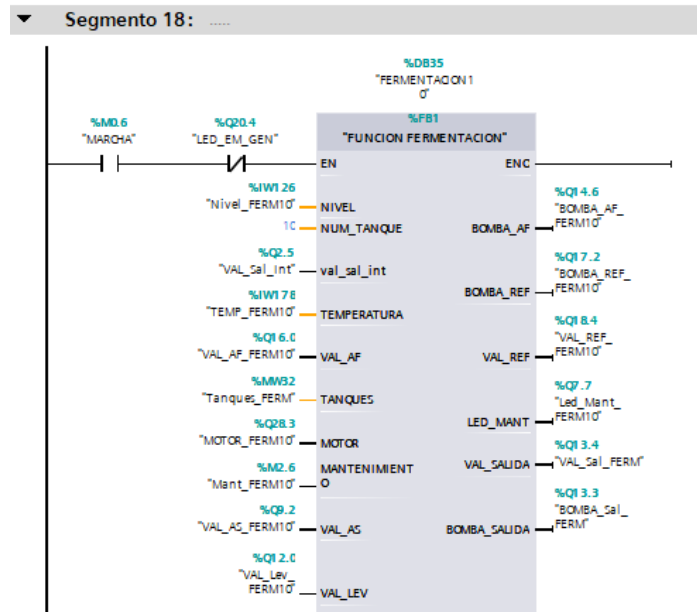


Figura 6.41 Programa principal, part 9.

El segment 18 seria l'últim on es crida el bloc de funció de fermentació i hi trobem el tanc de fermentació 10.

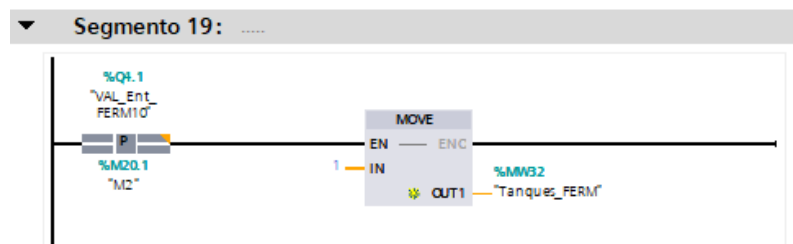


Figura 6.42 Programa principal, part 10.

Al segment 19, hi ha el programa que restaurarà el valor dels tancs de fermentació a 1 just quan hagi acabat d'entrar el producte provinent del tanc de premescla al tanc de fermentació 10. Així el cicle tornarà a començar, ja que el tanc 1 ja estarà buit i s'haurà fet el manteniment i ja se'l podrà tornar a omplir quan el cicle de premescla hagi acabat.

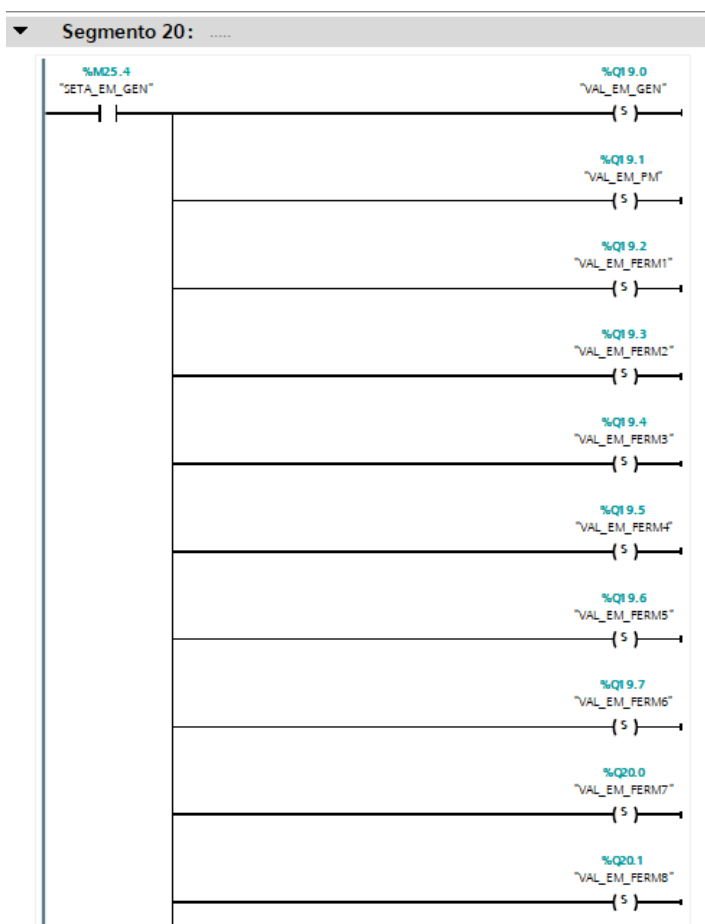


Figura 6.43 Programa principal, part 11.

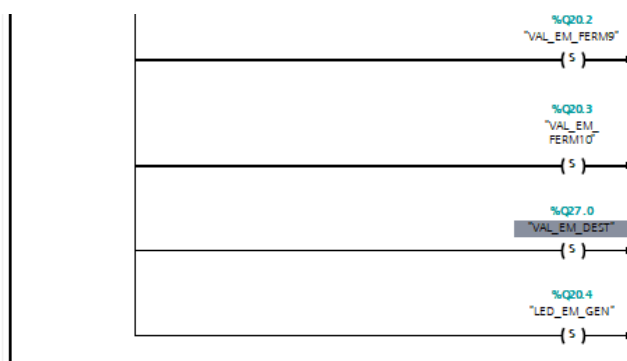


Figura 6.44 Programa principal, part 11 continuació.

Al segment número 20, s'hi troba la programació de l'estat d'emergència general. Un cop pulsada la parada d'emergència general, tots els tancs del procés es buidaran mitjançant l'obertura de la vàlvula d'emergència de cada tanc i s'activarà també l'obertura de la vàlvula d'emergència general ubicada al tanc d'emergència.

Tal com s'ha comentat anteriorment, es buiden els tancs en un estat d'emergència ja que el procés de producció d'etanol és un procés molt precís i qualsevol canvi en el transcurs del procés resultaria molt negatiu. Amb l'estat d'emergència, el procés es para, per tant ni el tanc de premescla continua amb el seu cicle ni es realitza correctament la fermentació als tancs de fermentació ni es pot destil·lar el l'etanol a la columna de destil·lació per què no s'injecta vapor. Per tant s'han de buidar tots els tancs i posteriorment es tractarà el producte emmagatzemat al tanc d'emergència.

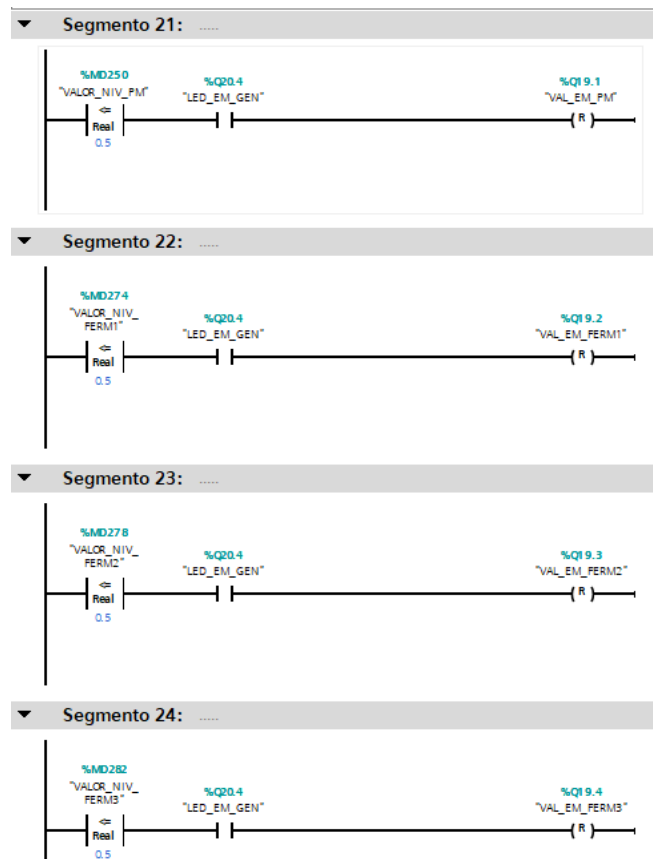


Figura 6.45 Programa principal, part 12.

A la figura anterior, podem observar la desactivació de les vàlvules d'emergència dels diferents tancs un cop el detector de nivell de cada tanc marca que el nivell és el mínim. Quan aquest nivell és el mínim i el LED d'emergència general està actiu, volent dir això que ens trobem en estat d'emergència, es desactivaran les vàlvules d'emergència de cada tanc. Al segment 21 la vàlvula d'emergència del tanc de premescla, al 22 la vàlvula d'emergència del tanc de fermentació 1, al 23 la vàlvula d'emergència del tanc de fermentació 2 i així successivament a les posteriors figures fins arribar a la vàlvula d'emergència de la columna de destil·lació.

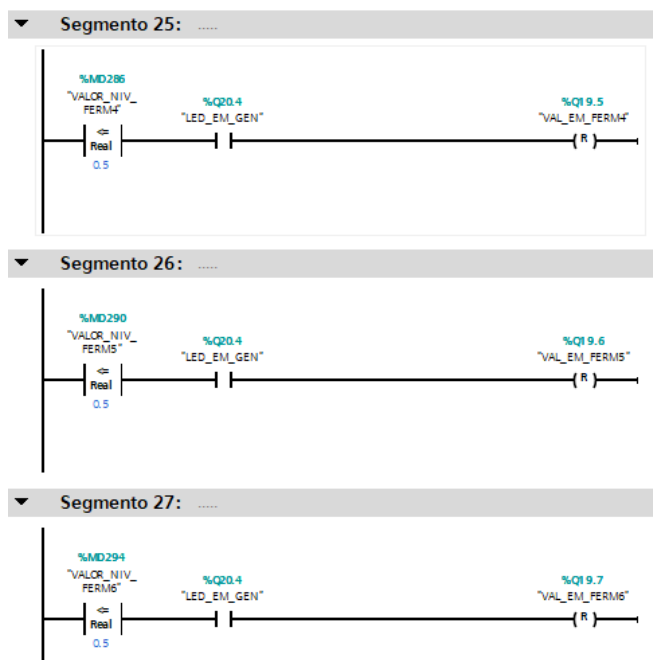


Figura 6.46 Programa principal, part 13.

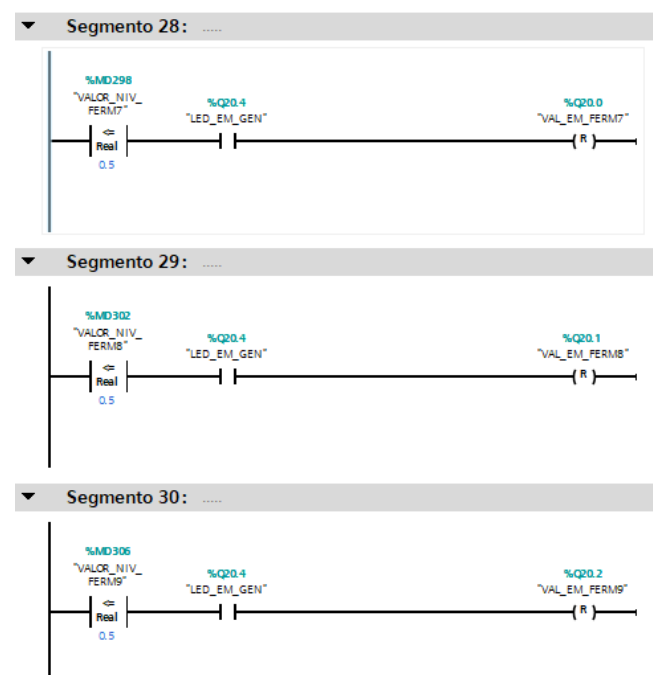


Figura 6.47 Programa principal, part 14.

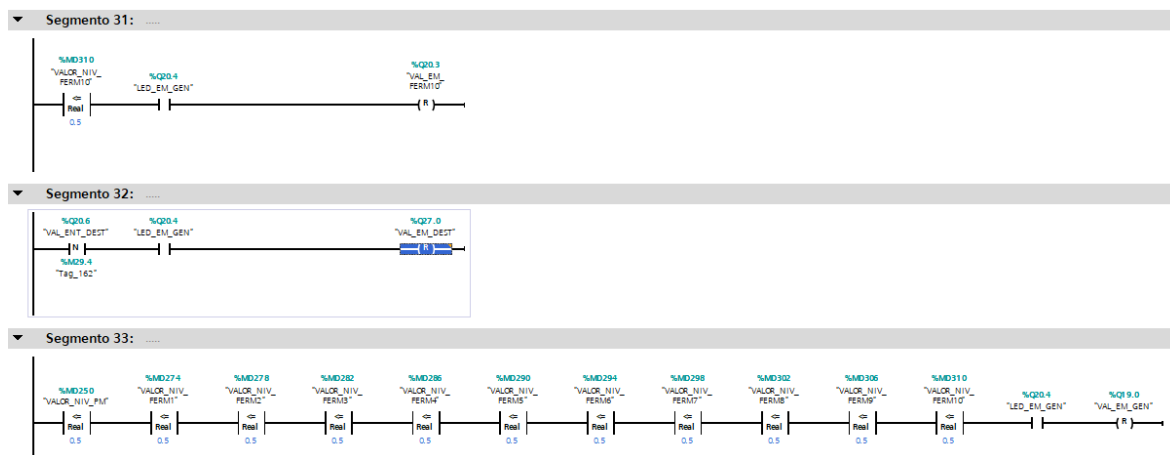


Figura 6.48 Programa principal, part 15.

Al segment 31, tenim la última desactivació de la vàlvula d'emergència del tanc 10 de fermentació, al segment 32 hi tenim la desactivació de la vàlvula d'emergència de la columna de destil·lació, que es desactiva un cop no entra més producte a la columna, ja que no hi pot haver un detector de nivell per què hi ha diferents plaques dins la columna que interferirien amb la mesura.

Al segment 33 hi tenim la desactivació de la vàlvula d'emergència general, que es desactiva un cop tots els tancs han estat buidats. Això s'ha realitzat per assegurar-se que no queda cap tanc amb producte a l'interior després de que es desactivi la vàlvula d'emergència general.

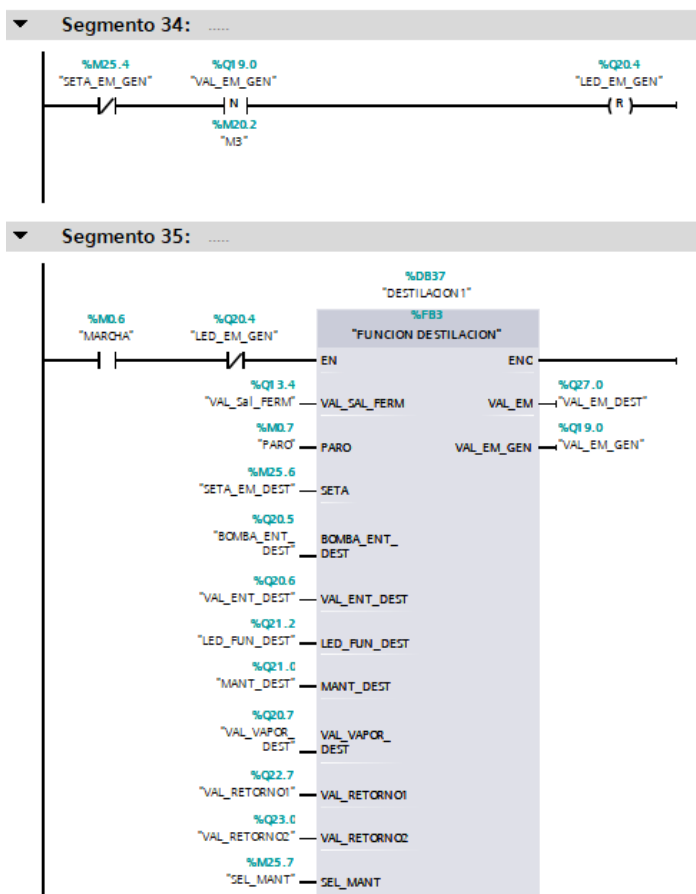


Figura 6.49 Programa principal, part 16.

Al segment 34, tenim la desactivació del LED d'emergència general un com la parada d'emergència s'ha rearmat i la vàlvula d'emergència general s'ha desactivat. Per a poder assegurar-nos de que encara que s'hagi rearmat la parada d'emergència, tot el producte dels tancs ha arribat al tanc de fermentació, s'ha programat el flanc descendent de la vàlvula d'emergència general.

Al segment 35, tenim la crida al bloc de funció de destil·lació i deshidratació, que s'activa a partir de l'estat de marxa del procés i amb el LED d'emergència general desactivat. Al tractar-se d'un bloc molt gran, s'ha hagut de dividir ja que ocupa més de la pantalla de l'ordinador.

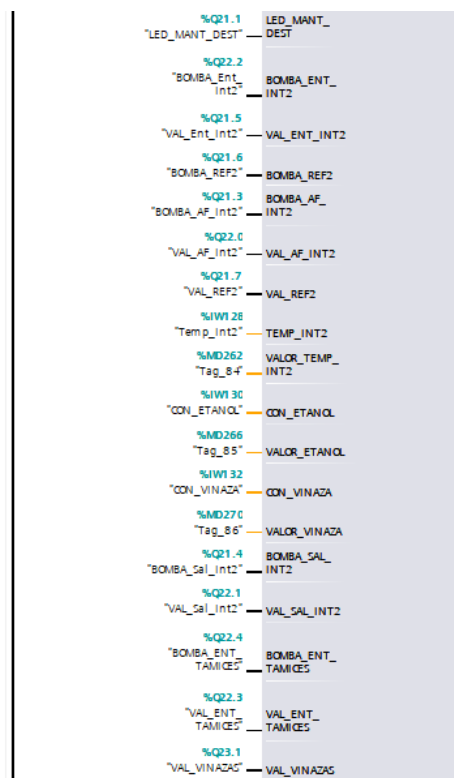


Figura 6.50 Programa principal, part 17.

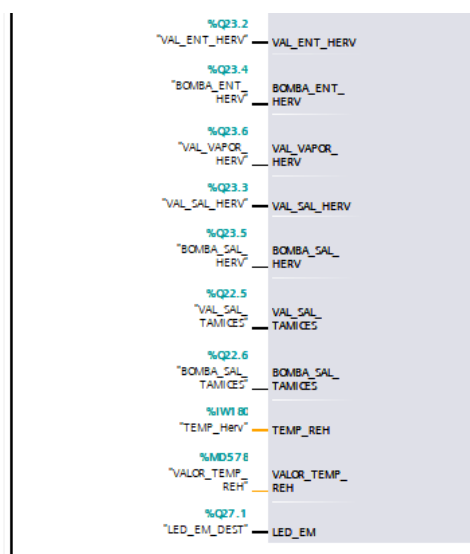


Figura 6.51 Programa principal, part 17 continuació.

Les figures 6.50 i 6.51 també contenen el bloc de funció de destil·lació, que com s'ha comentat és molt extens.

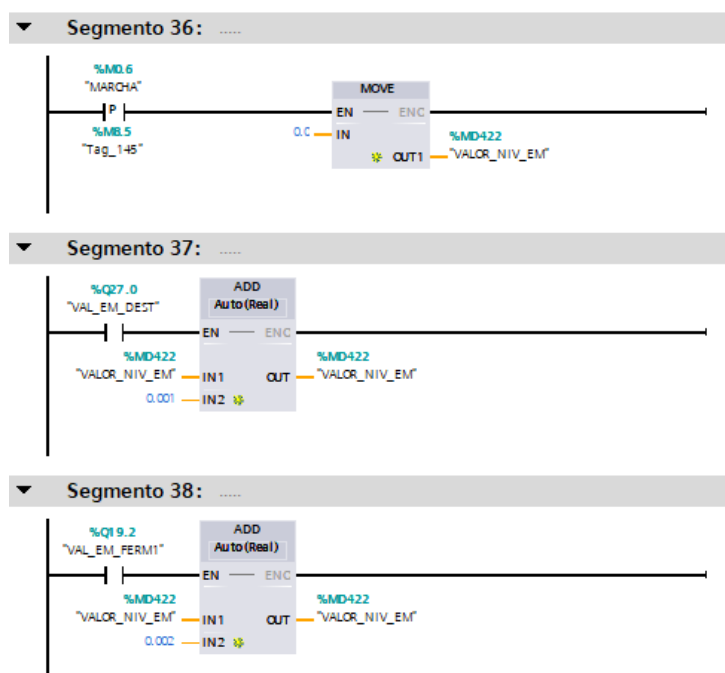
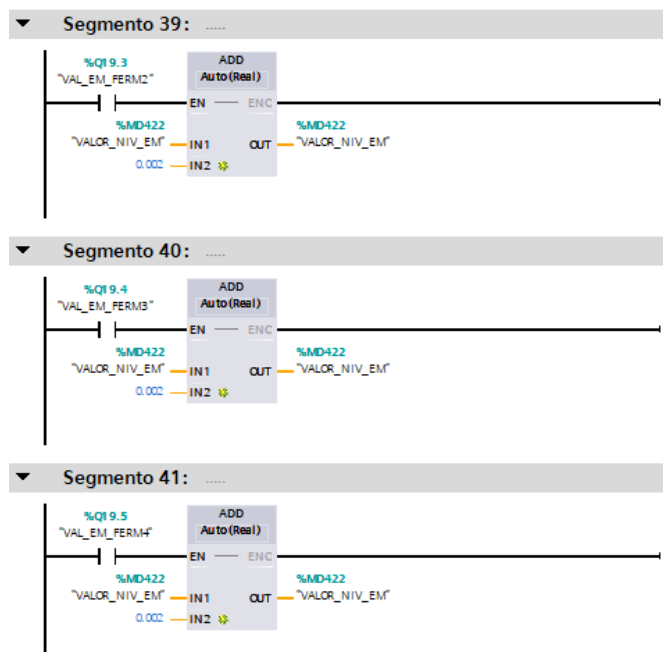


Figura 6.52 Programa principal, part 18.

Al segment 36, s'inicialitza el valor de nivell del tanc d'emergència a 0 amb el flanc ascendent de l'ordre de marxa. Es considera que quan comença el procés el tanc d'emergència està buit.

Tant al segment 37 com al 38, es simula que el nivell del tanc augmenta a mesura que les vàlvules d'emergència de la columna de destil·lació i del tanc de fermentació 1 respectivament, estan actives. A partir d'aquesta simulació, sempre que la columna de destil·lació no estiguin buits, es sumarà un 0,001% del volum del tanc d'emergència general per a cada cicle d'*scan*. Respecte al tanc de fermentació, ja que té un volum més gran que la columna de destil·lació, es suma 0,002 % per a cada cicle d'*scan*.





**Figura 6.53** Programa principal, part 19.

El mateix passa amb els segments de la figura 6.53, hi apareixen les simulacions d'augment de nivell del tanc d'emergència per als tancs de fermentació 2, 3 i 4. Quan les vàlvules de sortida d'emergència de cada tanc estan actives, volent dir que el tanc en qüestió encara no està buit, es suma un 0,002% del volum del tanc d'emergència per cada cicle d'*scan*.

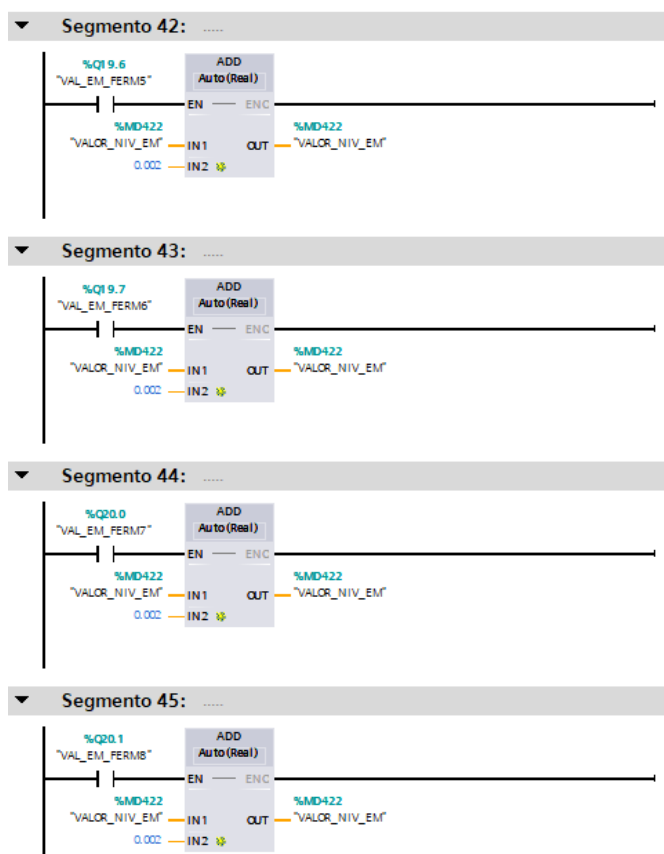


Figura 6.54 Programa principal, part 20.

El mateix passa amb els segments de la figura 6.54, hi apareixen les simulacions d'augment de nivell del tanc d'emergència per als tancs de fermentació 5, 6, 7 i 8. Quan les vàlvules de sortida d'emergència de cada tanc estan actives, volent dir que el tanc en qüestió encara no està buit, es suma un 0,002% del volum del tanc d'emergència per cada tanc de fermentació a cada cicle d'*scan*.

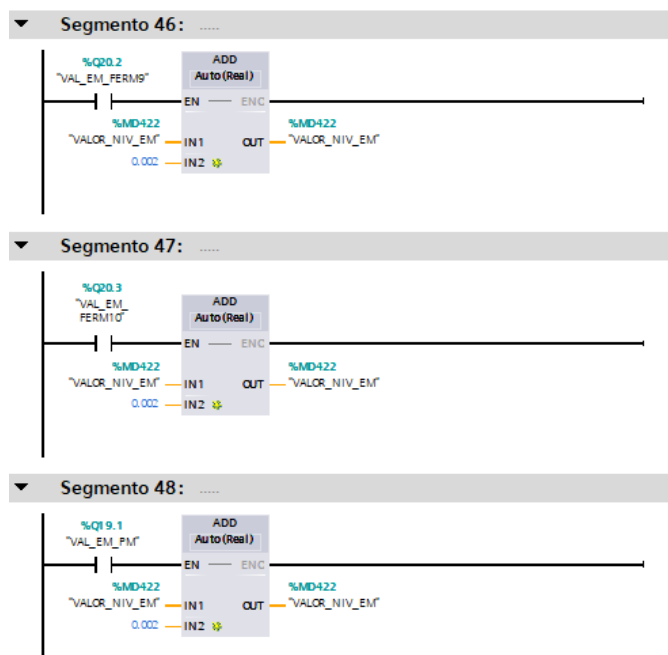
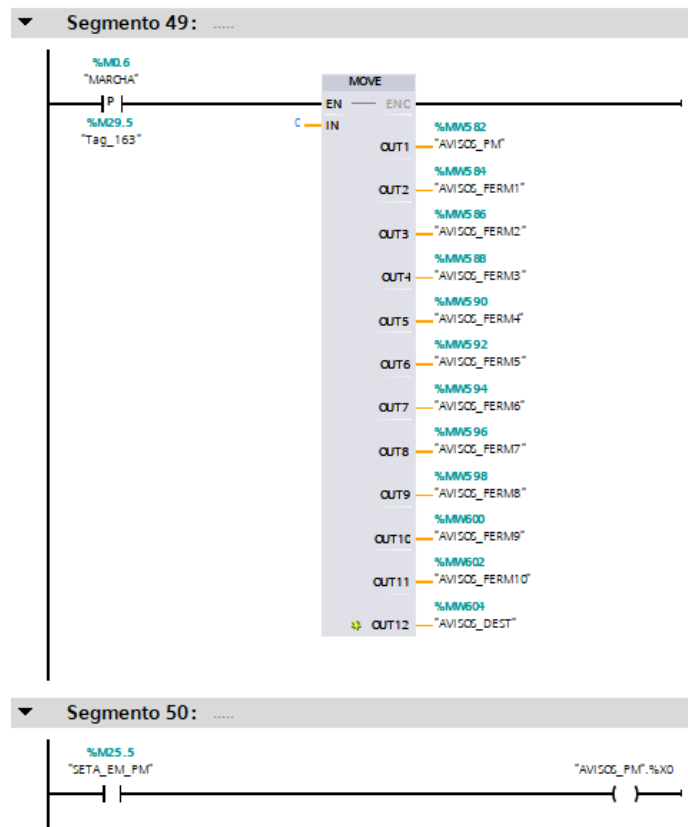


Figura 6.55 Programa principal, part 21.

El mateix passa amb els segments de la figura 6.55, hi apareixen les simulacions d'augment de nivell del tanc d'emergència per als tancs de fermentació 9 i 10 i per al tanc de premescla. Quan les vàlvules de sortida d'emergència de cada tanc estan actives, volent dir que el tanc en qüestió encara no està buit, es suma un 0,002% del volum del tanc d'emergència per cada tanc a cada cicle d'*scan*.



**Figura 6.56** Programa principal, part 22.

A la figura 6.56 hi apareixen els segments 49 i 50, on hi tenim la configuració d'avisos i alarmes que ens apareixeran a la pantalla HMI durant l'execució del programa.

Per a poder programar els avisos i les alarmes a la pantalla HMI, és necessari crear unes marques del tipus *Word* i dins aquestes, posar els avisos necessaris a nivell de bit. Per exemple, al segment 50 hi tenim la variable de la parada d'emergència del tanc de premescla. Aquesta variable ocupa un sol bit, però si no es posa dins una variable de tipus *Word*, no es podrà mostrar una alarma relacionada amb la variable.

Per tant, al flanc ascendent de l'ordre de marxa es mou un valor de 0 a totes les variables creades per als avisos i alarmes, s'ha creat una variable per a cada tanc. Amb la inicialització a 0, ens oblidem de les alarmes que podrien haver-hi abans de començar el procés.

Al segment 50 es mou el valor en tot moment de la variable de la parada d'emergència del tanc de premescla a la posició 0 de la *Word* dels avisos del tanc de premescla. Així, s'apunta directament el valor del bit a un bit en concret de la *Word* en qüestió, en aquest cas el bit de menor pes, el bit 0.

A continuació es mostraran altres moviments de variables anteriorment comentades a les variables creades pels avisos dels diferents tancs.

Principalment són els motors, per si deixen de funcionar a la meitat del procés, ens ho indiqui una alarma, les vàlvules d'emergència i les parades d'emergència.

Després com a avisos analògics, hi tenim les sondes de temperatura i els detectors de nivell, que avisaran per pantalla quan el valor sigui més gran o més petit dels marcats. Així, si el nivell sobrepassa el 95% del volum del tanc el operari veurà el que està passant i tindrà temps per reaccionar i prémer la parada d'emergència o aturar l'entrada de producte manualment.

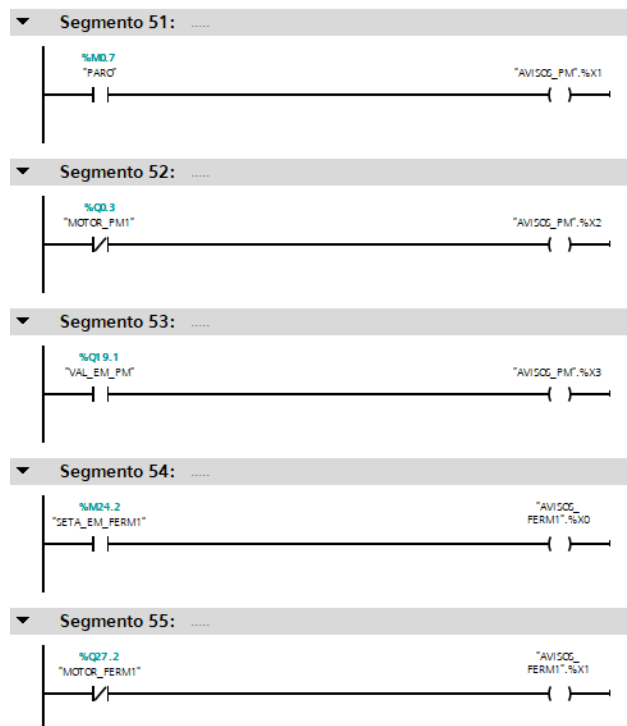


Figura 6.57 Programa principal, part 23.

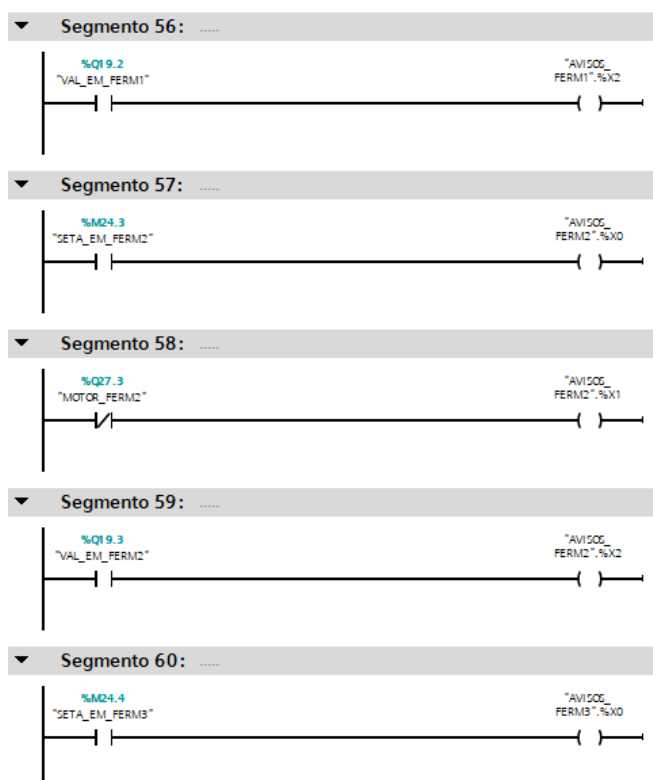


Figura 6.58 Programa principal, part 24.

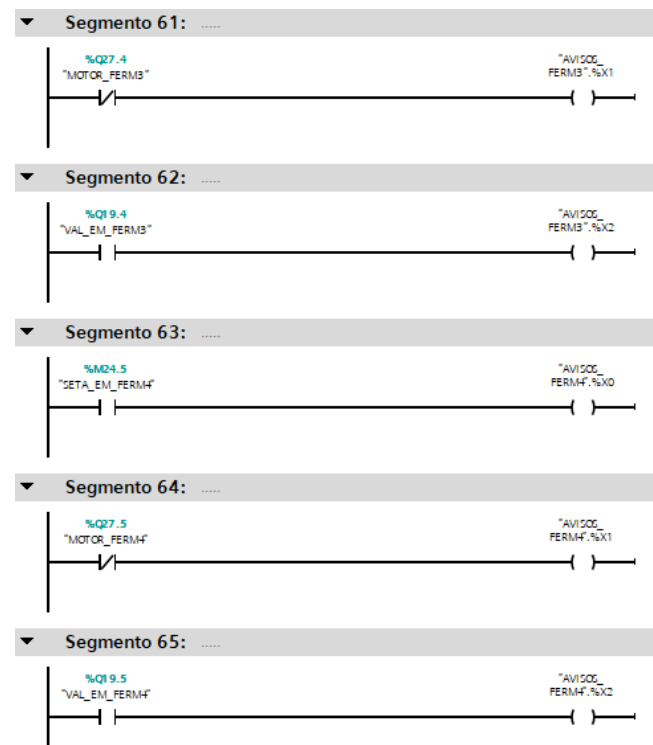


Figura 6.59 Programa principal, part 25.

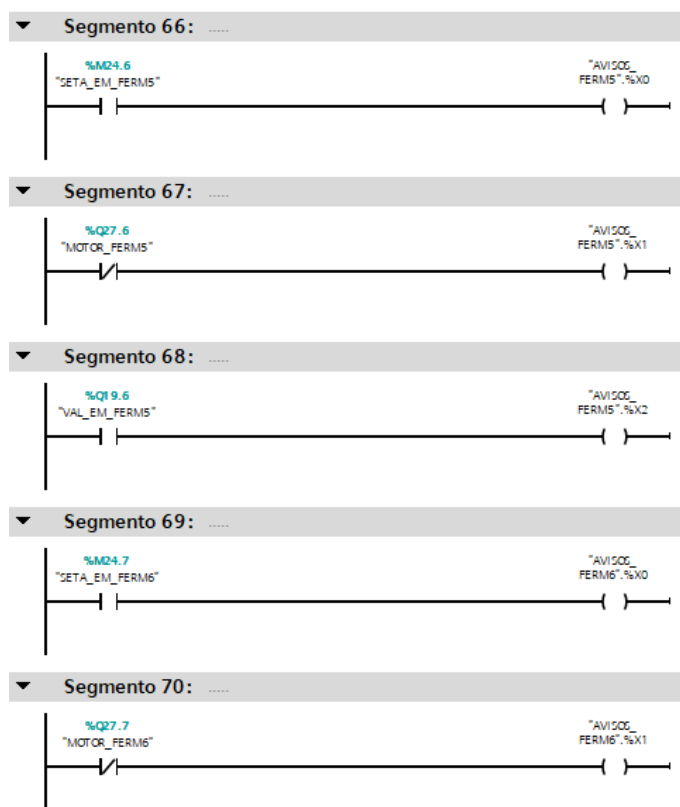


Figura 6.60 Programa principal, part 26.

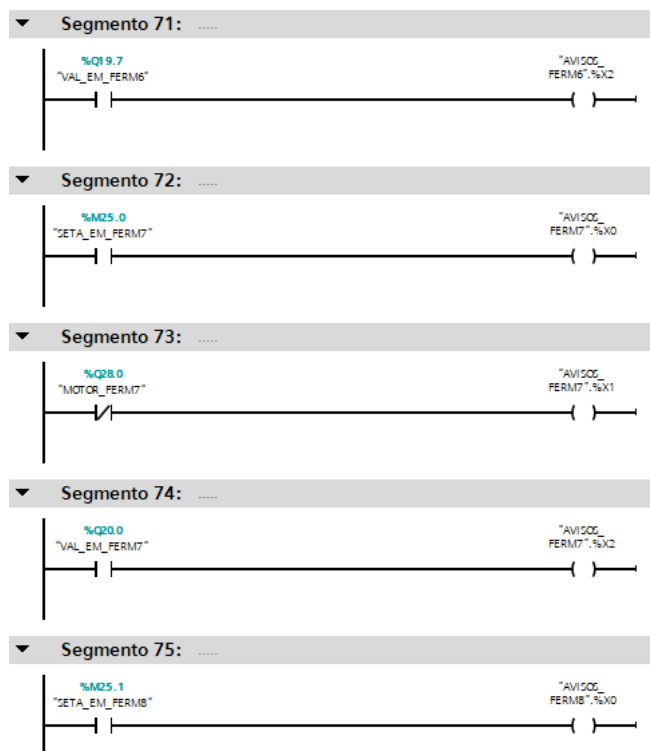


Figura 6.61 Programa principal, part 27.

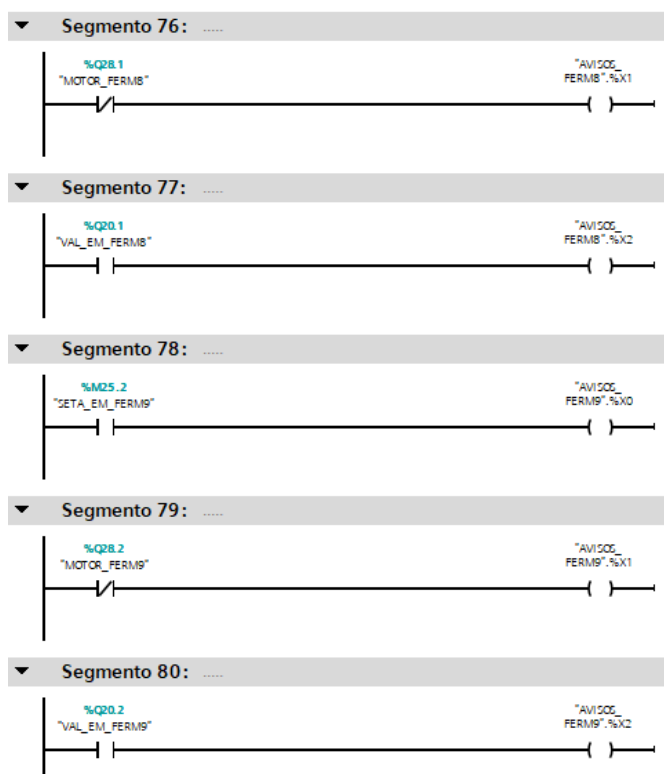


Figura 6.62 Programa principal, part 28.

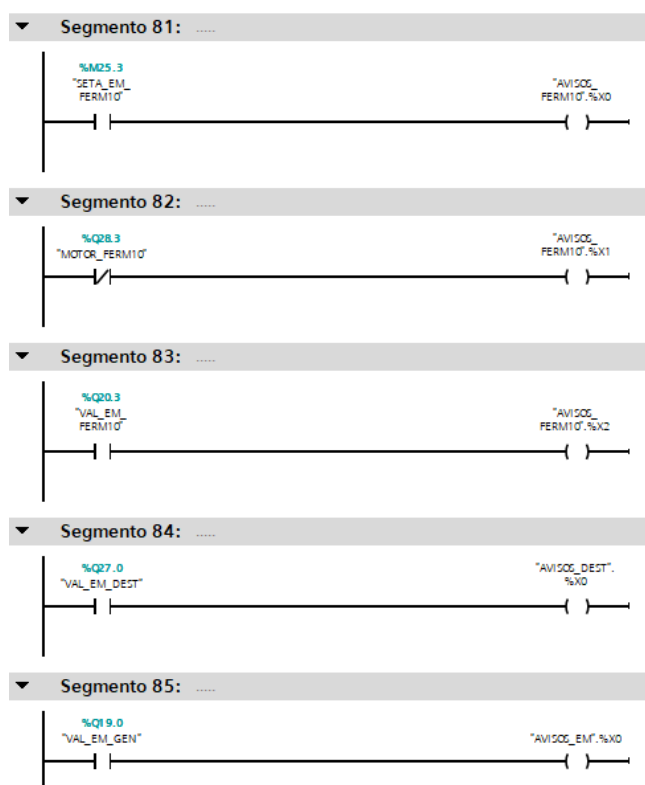


Figura 6.63 Programa principal, part 29.



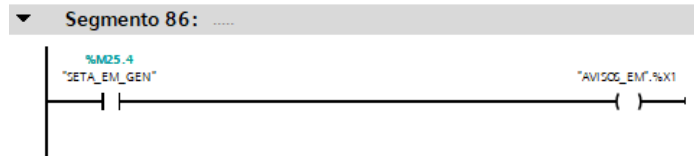


Figura 6.64 Programa principal, part 30.

A les figures anterior es mostren totes les variables booleanes a les quals se les ha traspassat a una variable de tipus *Word* per a poder-les posar com a avís per la pantalla. La majoria són les variables que indiquen que la parada d'emergència s'ha activat, si algun motor d'agitació s'ha parat, etc.

Mitjançant aquests avisos els operaris tindran una noció del que està passant i si han d'actuar podran actuar de forma més ràpida ja que es donarien compte del que succeeix.

## 6.6. Programa de la HMI

### 6.6.1. Arbre de navegació

Just al encendre la pantalla, preguntarà per a l'usuari i contrasenya per a poder visualitzar tot el contingut del programa de la pantalla. Un cop indicats, es podrà visualitzar la pantalla principal o arbre de navegació, on apareixeran els botons per accedir a cadascuna de les pantalles creades per a cada tanc. Polsant el botó del tanc en qüestió es mostrarà la pantalla d'aquell tanc i es podrà visualitzar el seu funcionament, si les vàlvules estan actives o no, la temperatura del tanc, el nivell del mateix, etc.

A continuació, a la següent figura es mostra aquest arbre de navegació comentat.

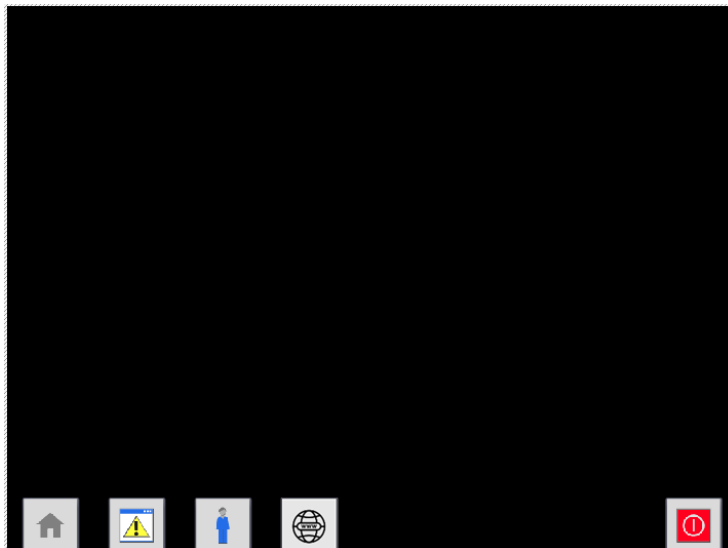


Figura 6.65 Arbre de navegació del programa de la HMI.

En aquesta pantalla que serà la primera que es visualitzi després d'entrar amb l'usuari i la contrasenya, es pot iniciar o tancar la sessió, en el cas que es volgués sortir de la pantalla o iniciar la sessió amb un altre usuari. Es pot anar a qualsevol dels tancs del procés per a veure el seu funcionament, es pot prémer el botó de marxa i el de parada, que encendran els LEDS de funcionament o de parada. Es pot prémer la parada d'emergència on s'encendrà el LED d'emergència. També es pot tancar la pantalla, mitjançant el botó de la part inferior dreta, es pot accedir als avisos, a la gestió d'usuaris, a la web del PLC, on es poden canviar valors dels paràmetres i visualitzar-los, etc. Aquesta és la pantalla que apareix al pulsar la icona de la casa, és la pantalla principal i des de totes les pantalles s'hi pot accedir.

### 6.6.2. Disseny de les pantalles de l'aplicació

El primer que s'ha dissenyat és la plantilla que es veurà a totes les pantalles menys la pantalla d'inici de sessió. La plantilla es mostra a la figura que tenim a continuació.



**Figura 6.66** Disseny de la plantilla.

Així doncs la plantilla la formen 5 botons. D'esquerra a dreta els botons fan les següents funcions: el primer és el botó que et retorna estiguis a la pantalla que estiguis a la pàgina principal, a l'arbre de navegació. El segon botó obre la finestra d'avisos, on es poden veure els darrers avisos generats durant el procés. El tercer botó serveix per a la gestió d'usuaris. El quart és per accedir al servidor web del PLC, al prémer el botó et porta a una pantalla on hi ha aquest servidor web i es configura posant la direcció IP del PLC que s'estigui utilitzant, en aquella pantalla es podrà navegar i canviar valors de variables com si s'estigués programant directament el PLC. Per últim el botó de més a la dreta, apaga la pantalla.

Un cop creada la plantilla es modifica la configuració del *Runtime* i s'indica que quan es creïn noves pantalles apareguin amb la plantilla ja programada. Per tant quasi totes les pantalles del projecte tindran aquests 5 botons i faran la mateixa funció que s'ha esmentat anteriorment.

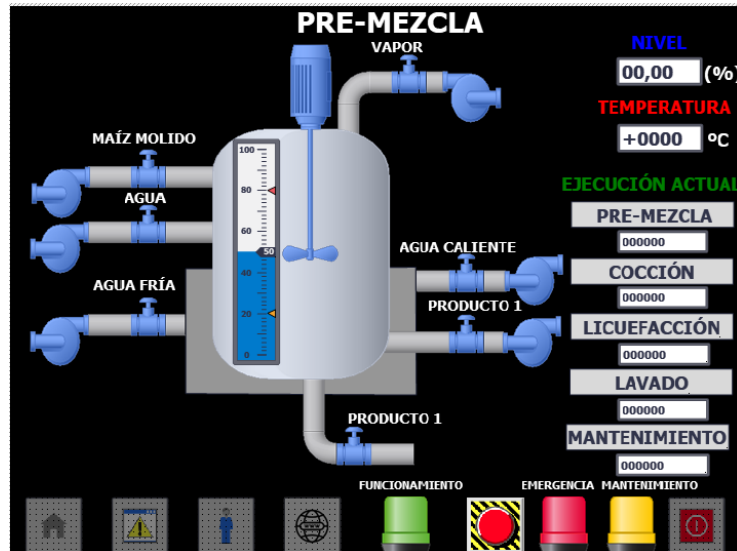


Figura 6.67 Disseny de la pantalla del tanc de premescla.

A la figura anterior es mostra la pantalla del tanc de premescla. Al prémer el botó de premescla a la pantalla inicial s'obrirà directament la pantalla del tanc de premescla. Aquesta pantalla mostra l'entrada del blat de moro mòlt i de l'aigua, es mostra també la injecció de vapor a dins el tanc, l'entrada i sortida d'aigua de la camisa de refrigeració. Alhora mostra la sortida del producte que es dirigeix cap a l'intercanviador i la sortida de producte en cas d'emergència.

A la part dreta de la pantalla, es pot veure el valor en % de nivell del tanc i el valor en °C de la temperatura a l'interior del tanc en tot moment. A més, hi ha un visualitzador d'etapes per a saber en quina etapa es troba el tanc de premescla, entre elles hi ha l'etapa de premescla, cocció, liqüefacció, rentada i manteniment.

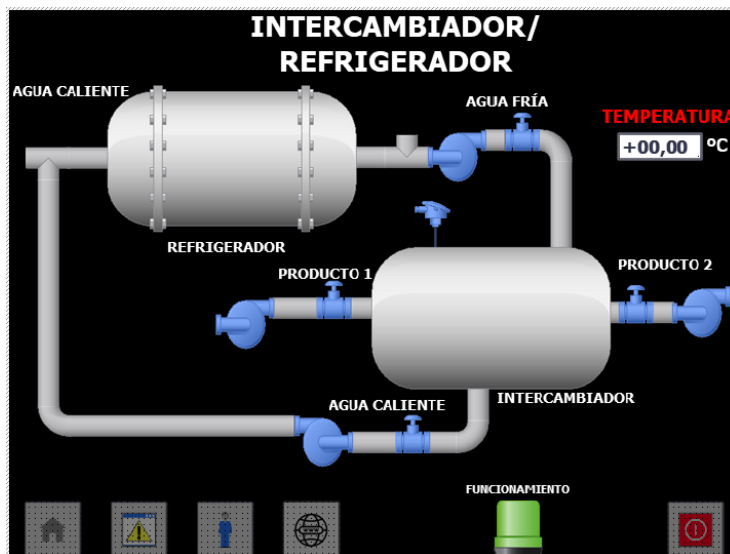
A la part inferior de la pantalla trobem els LED indicadors de l'estat del tanc, dependent del seu estat (funcionament, manteniment o emergència) s'encendrà un LED o un altre.

Finalment, com a últim element de la pantalla tenim la parada d'emergència, que en aquest cas s'ha posat a la pantalla perquè al no tenir la planta física no es podria simular la parada d'emergència. Però al tenir una planta física, la parada d'emergència s'eliminarà de la pantalla i seria un element de seguretat físic, ja que els elements de seguretat per a complir amb les normatives de seguretat han de ser físics.

La visualització del tanc inclou canvis a la visibilitat i a l'aparença dels diferents objectes per a fer-la dinàmica i poder observar com van actuant cada una de les variables i els elements del tanc.

Respecte a la visualització, es canvia l'aparença de les vàlvules i bombes del tanc així com del motor i del quadre de les etapes. Aquest canvi d'aparença es realitza quan les variables associades a cada vàlvula, bomba i els altres elements estan actives (tenen un valor de 1 en binari) i passen d'estar a color gris a color blau. Durant la simulació del procés, quan es visualitzi un element en blau indicarà que aquest està actiu. Si es tracta del motor, per exemple, voldrà dir que aquest està funcionant i per tant s'està barrejant el producte de l'interior del tanc.

Respecte a la visibilitat d'alguns elements, depenent de si estan actius o no, apareixeran o no en pantalla. És el cas dels LED indicadors de l'estat del tanc, que només es visualitzen per pantalla quan l'estat del tanc és el adient. Per exemple, el LED verd que indica que el tanc està en funcionament, només es visualitzarà quan el tanc estigui en funcionament, si està en manteniment es visualitzarà només el LED de manteniment. El mateix amb el LED d'emergència, que només es visualitzarà quan el tanc estigui en estat d'emergència.



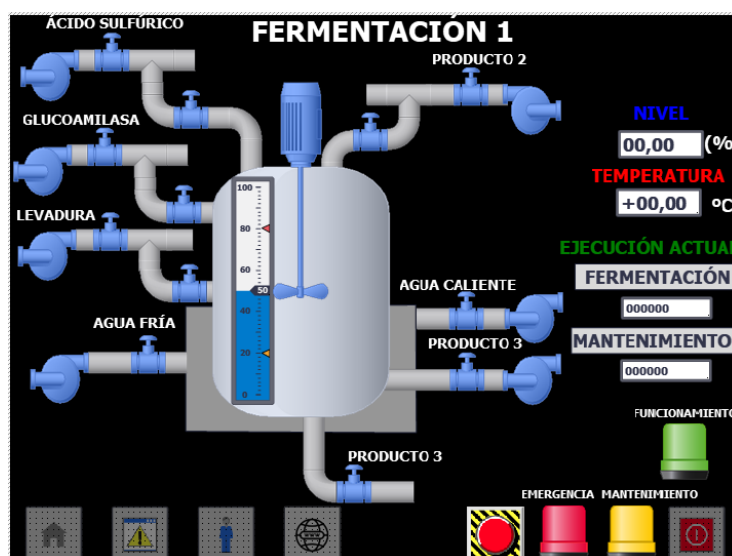
**Figura 6.68** Disseny de la pantalla de l'intercanviador i el sistema de refrigeració.

A la figura 6.68 es mostra la pantalla de l'intercanviador i del sistema de refrigeració. Aquesta pantalla apareix quan es polsa el botó de l'intercanviador a la pantalla inicial.

De la mateixa manera que la pantalla de premescla, hi trobem elements com les vàlvules, les bombes i un indicador de temperatura, per exemple. Tal i com s'ha comentat a la pantalla de premescla aquestes bombes i vàlvules estan programades per a que la seva visualització sigui dinàmica i segons el seu estat apareixen d'un color o un altre durant la simulació del procés. Quan aquestes estan actives

apareixen de color blau, per a donar a entendre que estan funcionant, quan no estan actives continuen de color gris com es veu a la figura.

Respecte a la visualització del LED de funcionament, com a la pantalla de premescla, aquest apareix quan l'intercanviador està en funcionament. Està pensat per a què l'operari pugui saber en tot moment si el tanc funciona com hauria.



**Figura 6.69** Disseny de la pantalla dels tancs de fermentació.

A la figura anterior es mostra la pantalla del primer tanc de fermentació, però tots els tancs de fermentació utilitzen la mateixa pantalla però cada element porta associades les variables del tanc en qüestió. Per tant, es comentarà només una de les pantalles dels tancs de fermentació.

En aquesta pantalla hi tenim les entrades de producte al tanc de fermentació, d'àcid sulfúric, de glucoamilasa, de llevat i del producte provinent del tanc de premescla. A les entrades de producte s'hi representa la bomba i la vàlvula generals, que són les que alimenten a tots els tancs de fermentació, a part també es mostra la vàlvula d'entrada de producte específica del tanc.

Alhora la camisa del tanc de fermentació disposa de l'entrada i sortida d'aigua del sistema de refrigeració per a poder refrigerar l'interior del tanc.

Respecte a les sortides, hi tenim la sortida de producte que es dirigirà fins a la columna de destil·lació i la sortida de producte per el cas d'emergència que es conduirà fins al tanc d'emergència.

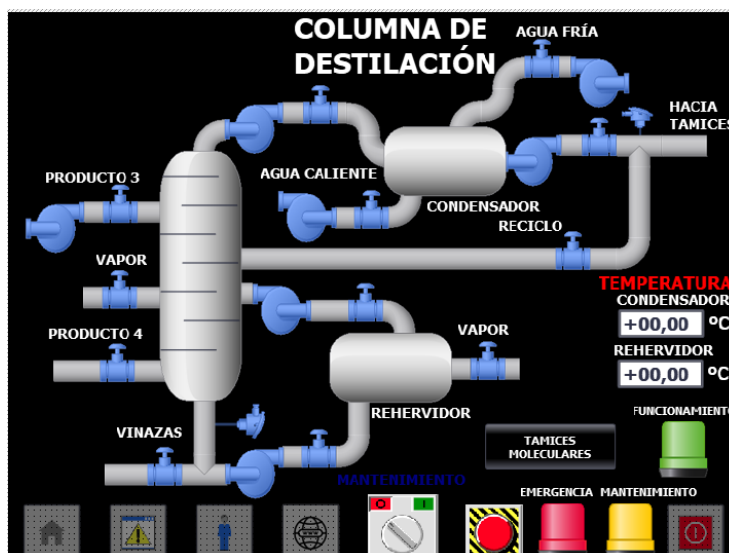
També hi tenim el motor que mourà les pales i que agitaran l'interior del tanc per a barrejar el producte durant el procés de fermentació.

Tots aquests elements, de la mateixa manera que s'ha comentat a les pantalles anteriors, es visualitzen de color blau quan estan actuant per a donar una visibilitat més dinàmica dels elements que estan actius en cada moment i entendre el que està actuant al cada tanc.

Els indicadors de nivell i temperatura marquen en tot moment el nivell en % que hi ha al tanc i la temperatura en °C a la qual es troba el producte dins el tanc de fermentació. S'actualitzen els seus valors en cada cicle d'*scan*.

De la mateixa manera que a la pantalla de premescla, també es representa l'etapa a la qual es troba el tanc, que pot ser l'etapa de fermentació o la de manteniment. Depenent de l'etapa que s'està realitzant, es mostra per la pantalla en color verd el requadre equivalent a l'etapa.

Respecte els LED indicadors de la situació del tanc, aquests només es visualitzen quan el tanc està en funcionament, en manteniment o en emergència. Volen representar una columna de senyalització física per a indicar l'estat del tanc als operaris.



**Figura 6.70** Disseny de la pantalla del sistema de destil·lació, part 1.

A la figura 6.70 es mostra la columna de destil·lació i altres elements com el condensador o el tanc d'ebullició. Es representen els elements d'aquest sistema com les bombes, les vàlvules, els detectors de concentració, els LED indicadors i les temperatures de l'intercanviador de calor i el tanc d'ebullició.

A la columna hi entra el producte provinent dels tancs de fermentació a partir de la bomba i la vàlvula d'entrada de producte també hi entren els conductes de retorn a la columna a partir de les seves vàlvules i bombes. Les sortides són diverses, la superior que és la sortida del vapor d'etanol que es condueix fins l'intercanviador, la sortida inferior que és la corrent de vinassa i la sortida en cas d'emergència.

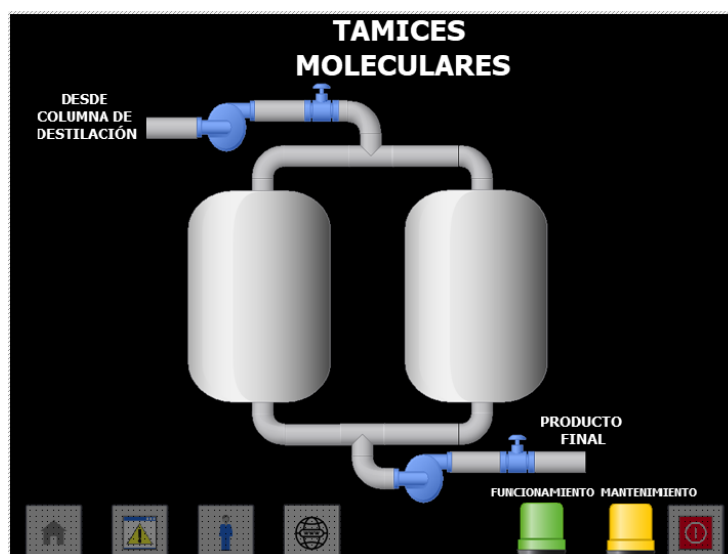
La seva representació, de la mateixa forma que els altres tancs, s'utilitza el color blau per a mostrar que la vàlvula o la bomba en qüestió estan actives i el color gris quan estan inactives. Això s'utilitza en totes les bombes i vàlvules de la pantalla, incloses les d'entrada i sortida d'aigua freda de l'intercanviador i les d'injecció de vapor de la columna i el tanc d'ebullició.

Com s'ha comentat, en aquesta pantalla hi podem veure en tot moment el valor actual de la temperatura en °C de l'interior de l'intercanviador i del tanc d'ebullició.

De la mateixa forma que a les altres pantalles, els LED indicadors de l'estat de la columna es visualitzen o no depenent d'aquest. Si el tanc no està operatiu no es visualitza cap LED, si ho està i està funcionant, s'encén el LED de funcionament. Si està operant però es troba en manteniment es mostra el LED de manteniment i si, pel contrari està en estat d'emergència serà el LED d'emergència el que estarà actiu.

A la vegada tenim un selector per a seleccionar l'estat de manteniment de la columna i una parada d'emergència per a poder activar l'estat d'emergència quan sigui necessari.

Finalment hi tenim un botó que ens portarà fins a la pantalla dels tamisos moleculars, que veurem a continuació a la figura 6.71.



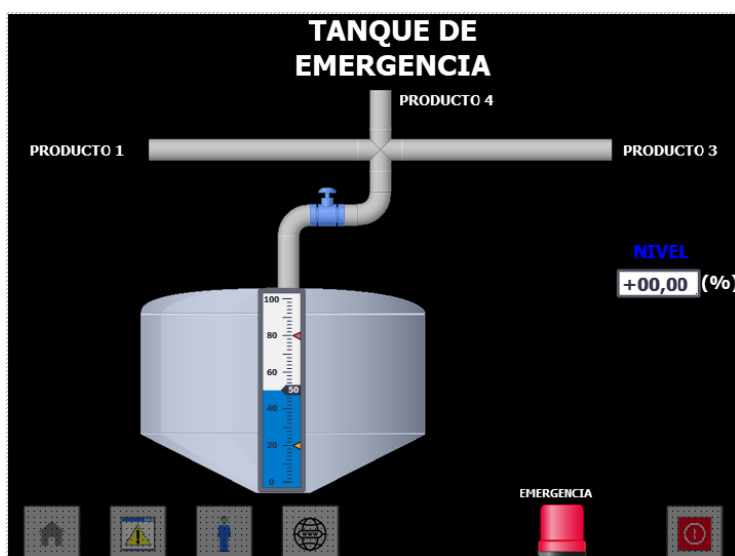
**Figura 6.71** Disseny de la pantalla del sistema de destil·lació, part 2.

A la pantalla dels tamisos moleculars es mostren els dos tamisos dels quals estarà format el procés i les seves entrades i sortides de producte.

Com a entrada hi tenim la vàlvula i la bomba que provenen de l'intercanviador de la columna de destil·lació i a la sortida hi tenim una vàlvula i una bomba que conduiran l'etanol fins al tanc d'emmagatzematge per a la posterior distribució.

Aquestes bombes i vàlvules depenent el seu estat, es visualitzaran de color blau o gris. Al estar actives es veuran en color blau i al estar inactives, de color gris.

A més, a la pantalla hi apareixen els LED indicadors de l'estat al qual es troben els tamisos moleculars. Quan aquests estiguin operant es visualitzarà el LED verd i quan es trobi en manteniment es visualitzarà el LED groc.



**Figura 6.72** Disseny de la pantalla del tanc d'emergència.

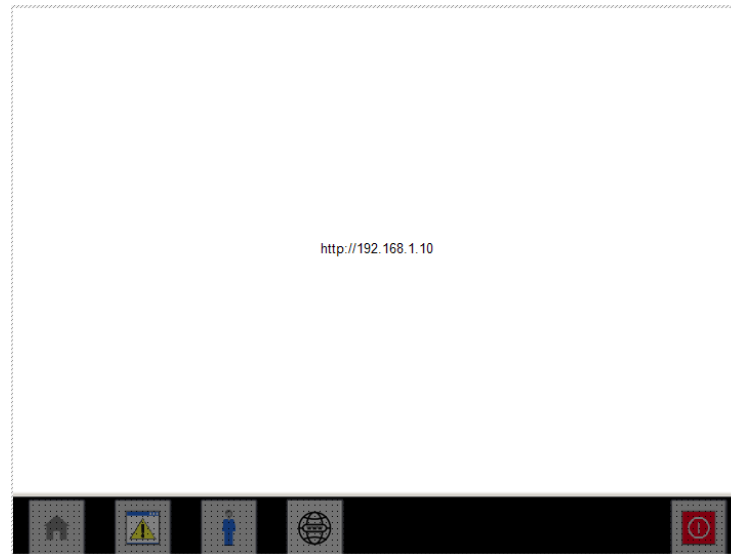
Per últim, la pantalla del tanc d'emergència on es podrà visualitzar aquest tanc amb la seva vàlvula general.

Quan algun dels tancs estigui en estat d'emergència i el producte es condueixi fins a aquest tanc, es mostrarà en blau la vàlvula general. Mentre aquesta no estigui activa, es mostrarà en gris.

Quan el procés estigui en emergència general, també es visualitzarà el LED vermell. Finalment, a aquesta pantalla també es podrà visualitzar el nivell del tanc d'emergència en %.

Ç





**Figura 6.73** Disseny de la pantalla d'accés a la pàgina web.

El disseny de la pantalla que dona accés a la pàgina web de la IP del PLC és la mostrada a la figura 6.73, en aquesta pantalla s'ha afegit el quadre creat al Tia Portal per a visualitzar pàgines web des de les pantalles HMI. Posant la direcció IP a la web, s'entrarà al lloc web del PLC i es podran modificar paràmetres i visualitzar diagnòstics del PLC, etc.

### 6.6.3. Disseny de la interfície d'alarmes del sistema

Les alarmes del procés es poden dividir en dos grups, les alarmes de bit i les alarmes analògiques. Les alarmes de bit, tal i com diu el nom són per a bit només, però tal i com s'ha explicat anteriorment, s'han de declarar amb variables de tipus *Word* que són variables de 16 bits. Un cop declarades aquestes variables, s'escull quin bit del 16 és el que es vol utilitzar per a definir la direcció de l'alarma. Les alarmes analògiques són alarmes que ocupen 32 bits, anomenades *Double Words*. Aquestes són variables numèriques amb signe i reals.

A l'apartat 6.5.3 del treball, referent a les seqüències de control del programa, s'ha mostrat i explicat la programació per als avisos de bit, com s'han posat variables de tipus booleans a variables de tipus *Word* per a després poder-les utilitzar a l'apartat d'avisos i alarmes de la pantalla.

A continuació es mostren els avisos de bit.

Avisos de bit						
ID	Nombre	Texto de aviso	Categoría	Variable de di...	Bit de ...	Dirección de ...
1	SETA_EM_PM	LA SETA DE EMERGENCIA DEL TANQU	Errors	AVISOS_PM	0	AVISOS_PM.x0
2	PARO_PM	EL PROCESO ESTÁ PARADO.	Warnings	AVISOS_PM	1	AVISOS_PM.x1
3	MOTOR_PM	EL MOTOR DEL TANQUE DE PRE-MEZC	Warnings	AVISOS_PM	2	AVISOS_PM.x2
4	VAL_EM_PM	SE ESTÁ VACIANDO EL TANQUE DE PF	Errors	AVISOS_PM	3	AVISOS_PM.x3
5	SETA_EM_FERM1	LA SETA DE EMERGENCIA DEL TANQU	Errors	AVISOS_FERM1	0	AVISOS_FERM...
6	MOTOR_FERM1	EL MOTOR DEL TANQUE DE FERMENT	Warnings	AVISOS_FERM1	1	AVISOS_FERM...
7	VAL_EM_FERM1	SE ESTÁ VACIANDO EL TANQUE DE FE	Errors	AVISOS_FERM1	2	AVISOS_FERM...
8	SETA_EM_FERM2	LA SETA DE EMERGENCIA DEL TANQU	Errors	AVISOS_FERM2	0	AVISOS_FERM...
9	MOTOR_FERM2	EL MOTOR DEL TANQUE DE FERMENT	Warnings	AVISOS_FERM2	1	AVISOS_FERM...
10	VAL_EM_FERM2	SE ESTÁ VACIANDO EL TANQUE DE FE	Errors	AVISOS_FERM2	2	AVISOS_FERM...
11	SETA_EM_FERM3	LA SETA DE EMERGENCIA DEL TANQU	Errors	AVISOS_FERM3	0	AVISOS_FERM...
12	MOTOR_FERM3	EL MOTOR DEL TANQUE DE FERMENT	Warnings	AVISOS_FERM3	1	AVISOS_FERM...
13	VAL_EM_FERM3	SE ESTÁ VACIANDO EL TANQUE DE FE	Errors	AVISOS_FERM3	2	AVISOS_FERM...
14	SETA_EM_FERM4	LA SETA DE EMERGENCIA DEL TANQU	Errors	AVISOS_FERM4	0	AVISOS_FERM...
15	MOTOR_FERM4	EL MOTOR DEL TANQUE DE FERMENT	Warnings	AVISOS_FERM4	1	AVISOS_FERM...
16	VAL_EM_FERM4	SE ESTÁ VACIANDO EL TANQUE DE FE	Errors	AVISOS_FERM4	2	AVISOS_FERM...
17	SETA_EM_FERM5	LA SETA DE EMERGENCIA DEL TANQU	Errors	AVISOS_FERM5	0	AVISOS_FERM...
18	MOTOR_FERM5	EL MOTOR DEL TANQUE DE FERMENT	Warnings	AVISOS_FERM5	1	AVISOS_FERM...
19	VAL_EM_FERM5	SE ESTÁ VACIANDO EL TANQUE DE FE	Errors	AVISOS_FERM5	2	AVISOS_FERM...
20	SETA_EM_FERM6	LA SETA DE EMERGENCIA DEL TANQU	Errors	AVISOS_FERM6	0	AVISOS_FERM...
21	MOTOR_FERM6	EL MOTOR DEL TANQUE DE FERMENT	Warnings	AVISOS_FERM6	1	AVISOS_FERM...
22	VAL_EM_FERM6	SE ESTÁ VACIANDO EL TANQUE DE FE	Errors	AVISOS_FERM6	2	AVISOS_FERM...
23	SETA_EM_FERM7	LA SETA DE EMERGENCIA DEL TANQU	Errors	AVISOS_FERM7	0	AVISOS_FERM...
24	MOTOR_FERM7	EL MOTOR DEL TANQUE DE FERMENT	Warnings	AVISOS_FERM7	1	AVISOS_FERM...
25	VAL_EM_FERM7	SE ESTÁ VACIANDO EL TANQUE DE FE	Errors	AVISOS_FERM7	2	AVISOS_FERM...

Figura 6.74 Avisos de bit, part 1.

26	SETA_EM_FERM8	LA SETA DE EMERGENCIA DEL TANQU	Errors	AVISOS_FERM8	0	AVISOS_FERM...
27	MOTOR_FERM8	EL MOTOR DEL TANQUE DE FERMENT	Warnings	AVISOS_FERM8	1	AVISOS_FERM...
28	VAL_EM_FERM8	SE ESTÁ VACIANDO EL TANQUE DE FE	Errors	AVISOS_FERM8	2	AVISOS_FERM...
29	SETA_EM_FERM9	LA SETA DE EMERGENCIA DEL TANQU	Errors	AVISOS_FERM9	0	AVISOS_FERM...
30	MOTOR_FERM9	EL MOTOR DEL TANQUE DE FERMENT	Warnings	AVISOS_FERM9	1	AVISOS_FERM...
31	VAL_EM_FERM9	SE ESTÁ VACIANDO EL TANQUE DE FE	Errors	AVISOS_FERM9	2	AVISOS_FERM...
32	SETA_EM_FERM10	LA SETA DE EMERGENCIA DEL TANQU	Errors	AVISOS_FERM...	0	AVISOS_FERM...
33	MOTOR_FERM10	EL MOTOR DEL TANQUE DE FERMENT	Warnings	AVISOS_FERM...	1	AVISOS_FERM...
34	VAL_EM_FERM10	SE ESTÁ VACIANDO EL TANQUE DE FE	Errors	AVISOS_FERM...	2	AVISOS_FERM...
35	VAL_EM_DEST	SE ESTÁ VACIANDO EL TANQUE DE DI	Errors	AVISOS_DEST	0	AVISOS_DEST...
36	VAL_EM_GEN	ESTÁ ACTIVA LA VÁLVULA DE EMERGE	Errors	AVISOS_EM	0	AVISOS_EM.x0
37	SETA_EM_GEN	LA SETA DE EMERGENCIA GENERAL E!	Errors	AVISOS_EM	1	AVISOS_EM.x1

Figura 6.75 Avisos de bit, part 2.

Entre les variables s'han definit dos tipus de categories, els errors i els avisos (*Warnings*), es poden veure a la columna 4 de la taula d'avisos. Els avisos a destacar són els errors, que implicarien específicament que alguna cosa no va bé al procés. Aquestes alarmes les formen les variables de les parades d'emergència i les vàlvules d'emergència, que indiquen que el procés s'ha parat per alguna emergència que s'haurà de revisar. Els avisos són formats per les variables referents als motors dels tancs de premescla i fermentació, que avisen quan el motor està parat. Són simples avisos perquè pot ser que el motor s'hagi parat perquè l'etapa a la qual es troba el tanc en qüestió així ho requereix, per tant, per aquests avisos només s'hauria de comprovar que tot funciona correctament.

Al sortir l'avís per la pantalla, apareix també el text de la columna 3 associat a l'avís o l'error per a què l'operari pugui saber de què es tracta l'avís en qüestió i quin es el problema que hi ha.

Per a definir els avisos, s'ha de posar el nom de l'avís, la descripció que sortirà, la variable a la qual es troba el bit de l'avís i finalment el número de bit que ocupa dins la variable. Un exemple de la direcció del bit es veu als primers avisos, la columna de la dreta, AVISOS\_PMx0. Això vol dir que dins la variable d'AVISOS\_PM, el bit del qual es vol generar l'avís és el 0.

Els avisos de caire analògic es mostren a continuació.






























Avisos analógicos							
	ID	Nombre	Texto de aviso	Categoría	Variable de disparo	Valor límite	Modo del lími...
	1	NIVEL PM SUP	CUIDADO, NIVEL > 95%	Warnings	VALOR_NIV_PM	95	Superior
	2	NIVEL PM MAX	OJO!! NIVEL > 98% PARAR ENTRADA	Errors	VALOR_NIV_PM	98	Superior
	6	TEMPERATURA PM ...	CUIDADO, TEMPERATURA > 120 °C	Warnings	Tag_82	120	Superior
	7	TEMPERATURA PM ...	OJO!! TEMPERATURA >130°C PARAR VAPOR	Errors	Tag_82	130	Superior
	8	TEMPERATURA PM I...	CUIDADO, TEMPERATURA <60°C	Warnings	Tag_82	60	Inferior
	9	TEMPERATURA PM ...	OJO!! TEMPERATURA <55°C ENCENDER VAPOR	Errors	Tag_82	55	Inferior
	5	TEMPERATURA INT ...	CUIDADO, TEMPERATURA >35°C	Warnings	VALOR_TEMP_INT	35	Superior
	10	TEMPERATURA INT ...	OJO!! TEMPERATURA >38°C ABRIR VALVULA AF	Errors	VALOR_TEMP_INT	38	Superior
	11	TEMPERATURA INT I...	CUIDADO, TEMPERATURA <25°C	Warnings	VALOR_TEMP_INT	25	Inferior
	12	TEMPERATURA INT ...	OJO!! TEMPERATURA <23°C PARAR VALVULA AF	Errors	VALOR_TEMP_INT	23	Inferior
	13	NIVEL FERM1 SUP	CUIDADO, NIVEL > 95%	Warnings	VALOR_NIV_FERM1	95	Superior
	14	NIVEL FERM1 MAX	OJO!! NIVEL > 98% PARAR ENTRADA	Errors	VALOR_NIV_FERM1	98	Superior
	17	NIVEL SUP FERM2	CUIDADO, NIVEL > 95%	Warnings	VALOR_NIV_FERM2	95	Superior
	18	NIVEL MAX FERM2	OJO!! NIVEL > 98% PARAR ENTRADA	Errors	VALOR_NIV_FERM2	98	Superior
	21	NIVEL SUP FERM3	CUIDADO, NIVEL > 95%	Warnings	VALOR_NIV_FERM3	95	Superior
	22	NIVEL MAX FERM3	OJO!! NIVEL > 98% PARAR ENTRADA	Errors	VALOR_NIV_FERM3	98	Superior
	25	NIVEL SUP FERM4	CUIDADO, NIVEL > 95%	Warnings	VALOR_NIV_FERM4	95	Superior
	26	NIVEL MAX FERM4	OJO!! NIVEL > 98% PARAR ENTRADA	Errors	VALOR_NIV_FERM4	98	Superior
	29	NIVEL SUP FERM5	CUIDADO, NIVEL > 95%	Warnings	VALOR_NIV_FERM5	95	Superior
	30	NIVEL MAX FERM5	OJO!! NIVEL > 98% PARAR ENTRADA	Errors	VALOR_NIV_FERM5	98	Superior
	33	NIVEL SUP FERM6	CUIDADO, NIVEL > 95%	Warnings	VALOR_NIV_FERM6	95	Superior
	34	NIVEL MAX FERM6	OJO!! NIVEL > 98% PARAR ENTRADA	Errors	VALOR_NIV_FERM6	98	Superior
	37	NIVEL SUP FERM7	CUIDADO, NIVEL > 95%	Warnings	VALOR_NIV_FERM7	95	Superior
	38	NIVEL MAX FERM7	OJO!! NIVEL > 98% PARAR ENTRADA	Errors	VALOR_NIV_FERM7	98	Superior
	41	NIVEL SUP FERM8	CUIDADO, NIVEL > 95%	Warnings	VALOR_NIV_FERM8	95	Superior
	42	NIVEL MAX FERM8	OJO!! NIVEL > 98% PARAR ENTRADA	Errors	VALOR_NIV_FERM8	98	Superior
	45	NIVEL SUP FERM9	CUIDADO, NIVEL > 95%	Warnings	VALOR_NIV_FERM9	95	Superior
	46	NIVEL MAX FERM9	OJO!! NIVEL > 98% PARAR ENTRADA	Errors	VALOR_NIV_FERM9	98	Superior
	49	NIVEL SUP FERM10	CUIDADO, NIVEL > 95%	Warnings	VALOR_NIV_FERM10	95	Superior
	50	NIVEL MAX FERM10	OJO!! NIVEL > 98% PARAR ENTRADA	Errors	VALOR_NIV_FERM10	98	Superior
	53	NIVEL SUP EMERG	CUIDADO, NIVEL > 90%	Warnings	VALOR_NIV_EM	90	Superior
	54	NIVEL MAX EMERG	OJO!! NIVEL > 95% VACIAR TANQUE	Errors	VALOR_NIV_EM	95	Superior
	56	TEMPERATURA FER...	CUIDADO, TEMPERATURA > 32 °C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM1	32	Superior

Figura 6.76 Avisos analògics, part 1.

57	TEMPERATURA FER...	OJO!! TEMPERATURA >35°C NECESITA MÁS REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM1	35	Superior
58	TEMPERATURA FER...	CUIDADO, TEMPERATURA <30°C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM1	30	Inferior
59	TEMPERATURA FER...	OJO!! TEMPERATURA <28°C PARAR REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM1	28	Inferior
60	TEMPERATURA SUP...	CUIDADO, TEMPERATURA > 32 °C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM2	32	Superior
61	TEMPERATURA MA...	OJO!! TEMPERATURA >35°C NECESITA MÁS REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM2	35	Superior
62	TEMPERATURA INF...	CUIDADO, TEMPERATURA <30°C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM2	30	Inferior
63	TEMPERATURA MIN...	OJO!! TEMPERATURA <28°C PARAR REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM2	28	Inferior
64	TEMPERATURA SUP...	CUIDADO, TEMPERATURA > 32 °C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM3	32	Superior
65	TEMPERATURA MA...	OJO!! TEMPERATURA >35°C NECESITA MÁS REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM3	35	Superior
66	TEMPERATURA INF...	CUIDADO, TEMPERATURA <30°C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM3	30	Inferior
67	TEMPERATURA MIN...	OJO!! TEMPERATURA <28°C PARAR REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM3	28	Inferior
68	TEMPERATURA SUP...	CUIDADO, TEMPERATURA > 32 °C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM4	32	Superior
69	TEMPERATURA MA...	OJO!! TEMPERATURA >35°C NECESITA MÁS REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM4	35	Superior
70	TEMPERATURA INF...	CUIDADO, TEMPERATURA <30°C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM4	30	Inferior
71	TEMPERATURA MIN...	OJO!! TEMPERATURA <28°C PARAR REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM4	28	Inferior
72	TEMPERATURA SUP...	CUIDADO, TEMPERATURA > 32 °C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM5	32	Superior
73	TEMPERATURA MA...	OJO!! TEMPERATURA >35°C NECESITA MÁS REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM5	35	Superior
74	TEMPERATURA INF...	CUIDADO, TEMPERATURA <30°C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM5	30	Inferior
75	TEMPERATURA MIN...	OJO!! TEMPERATURA <28°C PARAR REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM5	28	Inferior
76	TEMPERATURA SUP...	CUIDADO, TEMPERATURA > 32 °C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM6	32	Superior
77	TEMPERATURA MA...	OJO!! TEMPERATURA >35°C NECESITA MÁS REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM6	35	Superior
78	TEMPERATURA INF...	CUIDADO, TEMPERATURA <30°C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM6	30	Inferior
79	TEMPERATURA MIN...	OJO!! TEMPERATURA <28°C PARAR REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM6	28	Inferior
80	TEMPERATURA SUP...	CUIDADO, TEMPERATURA > 32 °C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM7	32	Superior
81	TEMPERATURA MA...	OJO!! TEMPERATURA >35°C NECESITA MÁS REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM7	35	Superior
82	TEMPERATURA INF...	CUIDADO, TEMPERATURA <30°C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM7	30	Inferior
83	TEMPERATURA MIN...	OJO!! TEMPERATURA <28°C PARAR REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM7	28	Inferior
84	TEMPERATURA SUP...	CUIDADO, TEMPERATURA > 32 °C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM8	32	Superior
85	TEMPERATURA MA...	OJO!! TEMPERATURA >35°C NECESITA MÁS REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM8	35	Superior
86	TEMPERATURA INF...	CUIDADO, TEMPERATURA <30°C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM8	30	Inferior
87	TEMPERATURA MIN...	OJO!! TEMPERATURA <28°C PARAR REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM8	28	Inferior
88	TEMPERATURA SUP...	CUIDADO, TEMPERATURA > 32 °C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM9	32	Superior

Figura 6.77 Avisos analògics, part 2.

89	TEMPERATURA MA...	OJO!! TEMPERATURA >35°C NECESITA MÁS REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM9	35	Superior
90	TEMPERATURA INF...	CUIDADO, TEMPERATURA <30°C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM9	30	Inferior
91	TEMPERATURA MIN...	OJO!! TEMPERATURA <28°C PARAR REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM9	28	Inferior
92	TEMPERATURA SUP...	CUIDADO, TEMPERATURA > 32 °C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM10	32	Superior
93	TEMPERATURA MA...	OJO!! TEMPERATURA >35°C NECESITA MÁS REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM10	35	Superior
94	TEMPERATURA INF...	CUIDADO, TEMPERATURA <30°C	Warnings	VALOR_TEMP_FERM10	30	Inferior
95	TEMPERATURA MIN...	OJO!! TEMPERATURA <28°C PARAR REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_FERM10	28	Inferior
96	TEMPERATURA SUP...	CUIDADO, TEMPERATURA > 37 °C	Warnings	VALOR_TEMP_INT2	37	Superior
97	TEMPERATURA MA...	OJO!! TEMPERATURA >40°C NECESITA MÁS REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_INT2	40	Superior
98	TEMPERATURA INF...	CUIDADO, TEMPERATURA <35°C	Warnings	VALOR_TEMP_INT2	35	Inferior
99	TEMPERATURA MIN...	OJO!! TEMPERATURA <33°C PARAR REFRIGERACIÓN!	Errors	VALOR_TEMP_INT2	33	Inferior
100	TEMPERATURA SUP...	CUIDADO, TEMPERATURA > 90 °C	Warnings	VALOR_TEMP_REH	90	Superior
101	TEMPERATURA MA...	OJO!! TEMPERATURA >95°C PARAR VAPOR	Errors	VALOR_TEMP_REH	95	Superior
102	TEMPERATURA INF...	CUIDADO, TEMPERATURA <80°C	Warnings	VALOR_TEMP_REH	80	Inferior
103	TEMPERATURA MIN...	OJO!! TEMPERATURA <77°C ENCENDER VAPOR!	Errors	VALOR_TEMP_REH	77	Inferior

Figura 6.78 Avisos analògics, part 3.

Els avisos analògics també els hem classificat en dos categories, els errors i els avisos. Funcionen de la mateixa forma que els avisos de bit, però aquests en comptes de mostrar-se si el bit està activat o no, es mostren si el valor de la variable està per sota o per sobre del valor indicat. Tal i com s'ha indicat anteriorment, els avisos a tenir més en compte són els errors, ja que són els casos més desfavorables. Entre l'avís i l'error i ha un marge de diferència per a que el procés pugui actuar, per sobre de l'error s'haurà d'actuar manualment per a solucionar els excessos o els defectes.

Quan apareix l'avís per pantalla, es mostra amb el text de la columna 3, que indica el problema que hi ha i el que s'hauria de fer per a solucionar-ho. Tots els avisos són creats per les variables del nivell i la temperatura dels tancs del procés, per a que no sobrepassi un cert nivell que podria arribar a ser perillós i per a que no sobrepassi superiorment o inferiorment la temperatura a depenent quines

etapes del procés per a què el producte no surti malmès, ja que es necessita de precisió per a executar-se el procés.

Els avisos analògics es creen de la forma següent, primer s'indica el nom de l'avís, seguidament s'afegeix la descripció que apareixerà per pantalla en cas que l'avís s'executi, després es tria la categoria de l'avís. Seguidament s'indica la variable que donarà l'ordre de l'avís i finalment, el valor límit a partir del qual a de donar l'avís i si aquest límit ha de ser per part superior o inferior. Per exemple, si es vol generar un avís per a la temperatura d'un tanc i que aquest avís al superar els 30,0 °C en amunt, s'haurà d'indicar com a valor límit 30 i com a mode del límit, superior, ja que es pretén que l'avís surti quan hagi superat els 30,0 °C.

#### 6.6.4. Gestió d'usuaris

Hi ha dos tipus d'usuaris, els administradors i els operaris. Cada un d'aquests ha d'accedir a partir d'un nom i una contrasenya.

A l'apartat d'administració d'usuaris de la pantalla, es poden crear i modificar els usuaris i les contrasenyes. A continuació es mostren els usuaris creats.










Usuarios					
	Nombre	Contraseña	Cierre de sesión autom..	Tiempo de cierre de sesión	Número
	administrador	*****	<input checked="" type="checkbox"/>	5	1
	Usuario	*****	<input checked="" type="checkbox"/>	5	2
	<Agregar>				
Grupos					
	Miembro de	Nombre	Número	Nombre de visualización	Caducidad de l...
	<input checked="" type="radio"/>	Grupo de administradores	1	Grupo de administradores	<input type="checkbox"/>
	<input type="radio"/>	Usuarios	2	Usuarios	<input type="checkbox"/>

Figura 6.79 Usuaris.

Un cop creats els diferents usuaris que es volen tenir, a la configuració del *Runtime*, es poden configurar els intents dels quals disposen per a iniciar la sessió, si la contrasenya ha de tenir una caducitat, els caràcters mínims que ha de tenir la contrasenya, si ha de tenir o no caràcters especials, etc.

Els usuaris s'agrupen en grups, per exemple a la figura 6.79 s'observa que l'usuari administrador pertany al "grup d'administradors" (a la part inferior de la imatge). I si es seleccionés l'usuari, es veuria que pertany al grup de "usuaris".






A la configuració dels diversos grups que s'han creat, especifiqueu quins són els permisos que té cada grup a l'hora de visualitzar, canviar paràmetres, etc. A la següent imatge es veuen els permisos del "grup d'administradors".

Grupos					
	Nombre	Número	Nombre de visualización	Caducidad de l...	Comentario
	Grupo de administradores	1	Grupo de administradores	<input type="checkbox"/>	El grupo 'Administradores' tiene inicialmente todos los derechos.
	Usuarios	2	Usuarios	<input type="checkbox"/>	El grupo 'Usuarios' tiene inicialmente el permiso 'Operación'.
	<Agregar>				
Permisos					
	Activo	Nombre	Nombre de visualización	Número	Comentario
	<input checked="" type="checkbox"/>	Administración de usuari...	Administración de usuarios	1	Permiso 'Administración de usuarios' para administrar usuarios en el s
	<input checked="" type="checkbox"/>	Monitorización	Monitorización	2	Permiso 'Supervisar'.
	<input checked="" type="checkbox"/>	Operación	Operación	3	Permiso 'Operación'.
		<Agregar>			

**Figura 6.80** Grups d'usuaris i permisos, part 1.

Com s'observa a la figura anterior, el grup d'administradors té permisos per a administrar usuaris, per a supervisar i per a operar.

A continuació es poden veure els permisos del grup de "usuaris".

Grupos					
	Nombre	Número	Nombre de visualización	Caducidad de l...	Comentario
	Grupo de administradores	1	Grupo de administradores	<input type="checkbox"/>	El grupo 'Administradores' tiene inicialmente todos los derechos.
	Usuarios	2	Usuarios	<input type="checkbox"/>	El grupo 'Usuarios' tiene inicialmente el permiso 'Operación'.
	<Agregar>				
Permisos					
	Activo	Nombre	Nombre de visualización	Número	Comentario
	<input type="checkbox"/>	Administración de usuari...	Administración de usuarios	1	Permiso 'Administración de usuarios' para administrar usuarios en el s
	<input type="checkbox"/>	Monitorización	Monitorización	2	Permiso 'Supervisar'.
	<input checked="" type="checkbox"/>	Operación	Operación	3	Permiso 'Operación'.

**Figura 6.81** Grups d'usuaris i permisos, part 2.

A la figura anterior s'observa que el grup "usuaris" només té permisos per a operar.

## 7. Proves i resultats

### 7.1. Disseny de les proves de funcionalitat

Per a poder provar el programa durant el desenvolupament del projecte, s'han utilitzat les taules d'observació i de forçat permanent que estan integrades al Tia Portal.

A partir d'aquestes eines es crea una taula amb les variables a les quals es volen observar els seus valors i el seu funcionament. Es forçaven els valors necessaris per a què el funcionament fos correcte i fluid i s'observava el comportament dels demés.

Per exemple, donar marxa al procés i que el tanc de premescla comencés a rebre el producte de les seves entrades i es comences a omplir. I poder controlar en tot moment el nivell i la temperatura del tanc per a comprovar que les etapes es realitzaven a la temperatura adient.

A continuació es mostraran les taules confeccionades per a realitzar les proves de funcionament dels tancs.

	i	Nombre	Direcció	Formato visualiza...	Valor de observac...	Valor de forzado	
1		"MARCHA"	%M0.6	BOOL		TRUE	<input checked="" type="checkbox"/>
2		"PARO"	%M0.7	BOOL		FALSE	<input type="checkbox"/>
3		"Led_Fun_PM1"	%Q0.0	BOOL			<input type="checkbox"/>
4		"PREMEZCLA_PM1"	%M1.0	BOOL			<input type="checkbox"/>
5		"COCCION_PM1"	%M1.1	BOOL			<input type="checkbox"/>
6		"LICUEFACCION_PM1"	%M1.2	BOOL			<input type="checkbox"/>
7		"LAVADO_PM1"	%M1.3	BOOL			<input type="checkbox"/>
8		"MANT_PM1"	%M0.5	BOOL			<input type="checkbox"/>
9		"VAL_AF_PM1"	%Q1.1	BOOL			<input type="checkbox"/>
10		"VAL_VAPOR_PM1"	%Q1.2	BOOL			<input type="checkbox"/>
11		"VALOR_TEMP_PM"	%MD254	Número en coma...			<input type="checkbox"/>
12		"VAL_ENT_PM1"	%Q1.4	BOOL			<input type="checkbox"/>
13		"VAL_SAL_PM1"	%Q1.5	BOOL			<input type="checkbox"/>
14		"VALOR_NIV_PM"	%MD250	Número en coma...			<input type="checkbox"/>
15		"LED_FUN_INT"	%Q26.7	BOOL			<input type="checkbox"/>
16		"VAL_Ent_Int"	%Q2.1	BOOL			<input type="checkbox"/>
17		"VAL_Sal_Int"	%Q2.5	BOOL			<input type="checkbox"/>
18		"Led_Fun_FERM1"	%Q12.1	BOOL			<input type="checkbox"/>
19			<Agregar>				<input type="checkbox"/>

**Figura 7.1** Taula d'observació del tanc de premescla i intercanviador en mode *offline*.

Declarades totes les variables que es volen observar i connectant-se *online* amb el PLC, en el nostre cas amb el PLCSIM que simula el controlador, es pot observar el valor de les variables en tot moment i com van canviant, a part de que es pot forçar el valor d'elles també.



	Nombre	Dirección	Formato visualiza..	Valor de observac..	Valor de forzado	
1	"MARCHA"	%M0.6	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/> ⚠
2	"PARO"	%M0.7	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE	FALSE	<input type="checkbox"/>
3	"Led_Fun_PM1"	%Q0.0	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
4	"PREMEZCLA_PM1"	%M1.0	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
5	"COCCION_PM1"	%M1.1	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
6	"LICUEFACCION_PM1"	%M1.2	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
7	"LAVADO_PM1"	%M1.3	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
8	"MANT_PM1"	%M0.5	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
9	"VAL_AF_PM1"	%Q1.1	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
10	"VAL_VAPOR_PM1"	%Q1.2	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
11	"VALOR_TEMP_PM"	%MD254	Número en coma...	0.0		<input type="checkbox"/>
12	"VAL_ENT_PM1"	%Q1.4	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
13	"VAL_SAL_PM1"	%Q1.5	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
14	"VALOR_NIV_PM"	%MD250	Número en coma...	0.0		<input type="checkbox"/>
15	"LED_FUN_INT"	%Q26.7	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
16	"VAL_Ent_Int"	%Q2.1	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
17	"VAL_Sal_Int"	%Q2.5	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
18	"Led_Fun_FERM1"	%Q12.1	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
19		<Agregar>				<input type="checkbox"/>

**Figura 7.2** Taula d'observació del tanc de premescla i intercanviador en mode *online*, part 1.

A la figura 7.2, es veu la taula d'observació que s'ha mostrat anteriorment en mode *online* amb el PLC. El procés està parat ja que encara no se li ha donat l'ordre de marxa, però al posar el valor el qual vols donar a les variables a la columna de valor de forçat i prémer la icona de forçar valors, aquests canviaran automàticament. Per això hi ha escrit un *True* al valor de forçat de la variable de marxa, per a poder posar en marxa el procés i visualitzar el que s'executa i succeeix en tot moment.

	Nombre	Dirección	Formato visualiza..	Valor de observac..	Valor de forzado	
1	"MARCHA"	%M0.6	BOOL	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE	TRUE	<input checked="" type="checkbox"/> ⚠
2	"PARO"	%M0.7	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE	FALSE	<input type="checkbox"/>
3	"Led_Fun_PM1"	%Q0.0	BOOL	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE		<input type="checkbox"/>
4	"PREMEZCLA_PM1"	%M1.0	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
5	"COCCION_PM1"	%M1.1	BOOL	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE		<input type="checkbox"/>
6	"LICUEFACCION_PM1"	%M1.2	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
7	"LAVADO_PM1"	%M1.3	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
8	"MANT_PM1"	%M0.5	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
9	"VAL_AF_PM1"	%Q1.1	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
10	"VAL_VAPOR_PM1"	%Q1.2	BOOL	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE		<input type="checkbox"/>
11	"VALOR_TEMP_PM"	%MD254	Número en coma...	88.55003		<input type="checkbox"/>
12	"VAL_ENT_PM1"	%Q1.4	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
13	"VAL_SAL_PM1"	%Q1.5	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
14	"VALOR_NIV_PM"	%MD250	Número en coma...	90.00082		<input type="checkbox"/>
15	"LED_FUN_INT"	%Q26.7	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
16	"VAL_Ent_Int"	%Q2.1	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
17	"VAL_Sal_Int"	%Q2.5	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
18	"Led_Fun_FERM1"	%Q12.1	BOOL	<input type="checkbox"/> FALSE		<input type="checkbox"/>
19		<Agregar>				<input type="checkbox"/>

**Figura 7.3** Taula d'observació del tanc de premescla i intercanviador en mode *online*, part 2.



Un cop forçat el valor a la variable de marxa, es pren una altra captura de la taula d'observació en mode *online*, és la que es mostra a la figura 7.3, en aquesta podem veure com el procés està en marxa i podem veure que el tanc de premescla està a l'etapa de cocció. Té una temperatura de 88 °C en el moment de la captura i estava augmentant ja que s'observa que la variable de la vàlvula d'injecció de vapor està també activa. Finalment observem un nivell del 90% del volum del tanc i com que es tractava d'una captura feta al primer cicle del tanc de premescla, encara no hi ha en funcionament ni el tanc de fermentació 1 ni l'intercanviador perquè no s'havia acabat el primer cicle.

A mesura que aquestes proves s'anaven realitzant correctament i el programa augmentava, les proves van passar a ser realitzades mitjançant la simulació pantalla HMI. Que de forma més ràpida i visual es podia navegar per les pantalles i comprovar el funcionament del procés més extensament.

Per a això es va realitzar un canvi de direccions a les variables de sortida i es van definir com a variables internes. Per a poder ser visualitzades per la pantalla HMI sense haver de disposar de les sortides físiques. Per a realitzar les proves de forma automàtica, es segueix l'execució del codi de programa del Tia Portal juntament amb la execució de la simulació de la pantalla HMI per a saber que el que està executant-se és correcte.

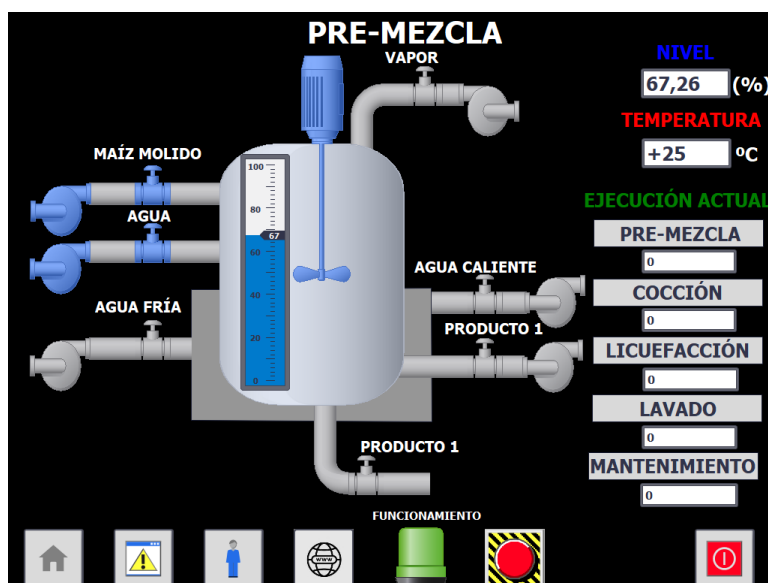
## 7.2. Resultats de les proves

A continuació es mostraran les imatges de les diferents etapes i tancs del procés per a poder comprovar el resultat de les simulacions i el comportament del procés. A les imatges es pot apreciar el comportament dels diferents elements de la pantalla.



Figura 7.4 Pantalla inicial prova del funcionament de la visibilitat dels botons.

A la imatge anterior hi tenim la pantalla inicial amb el procés en marxa i els tancs de premescla i fermentació 4 en funcionament. En principi, si s'utilitzessin temporitzadors amb la duració normal del procés, estaria també en funcionament el tanc de fermentació 1,2 i 3 ja que en 4 cicles del tanc de premescla no haurien deixat de funcionar els tancs de fermentació. Però, degut a que s'han reduït les duracions dels temporitzadors a l'ordre de segons per a poder visualitzar tot el procés, quan s'ha realitzat la captura els tancs de fermentació 1,2 i 3 ja no estaven en funcionament sinó que estaven en l'etapa de manteniment o parats.



**Figura 7.5** Pantalla tanc de premescla, entrada de productes.

A la imatge anterior tenim l'entrada de productes del tanc de premescla, com es pot observar el nivell estava creixent.

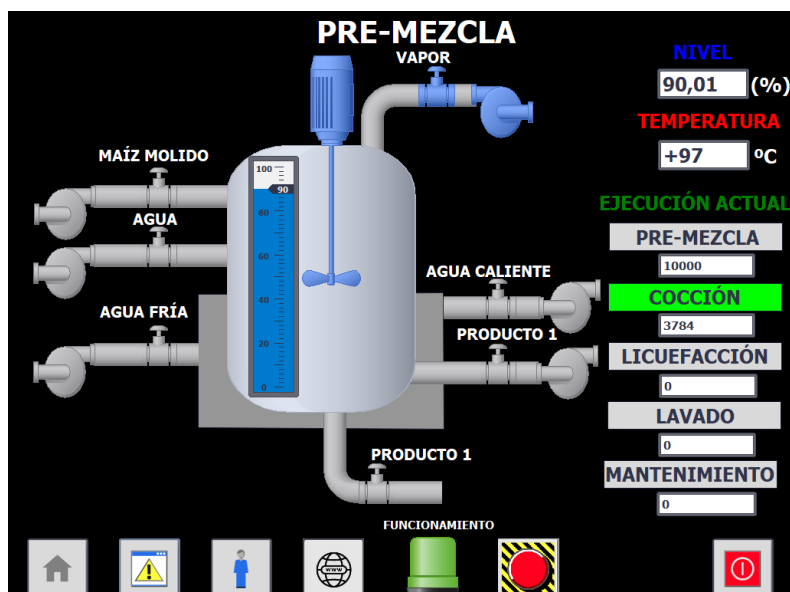


Figura 7.6 Pantalla tanc de premescla, injecció de vapor.

A la figura anterior es pot apreciar la injecció de vapor per a augmentar la temperatura del tanc durant l'etapa de cocció.

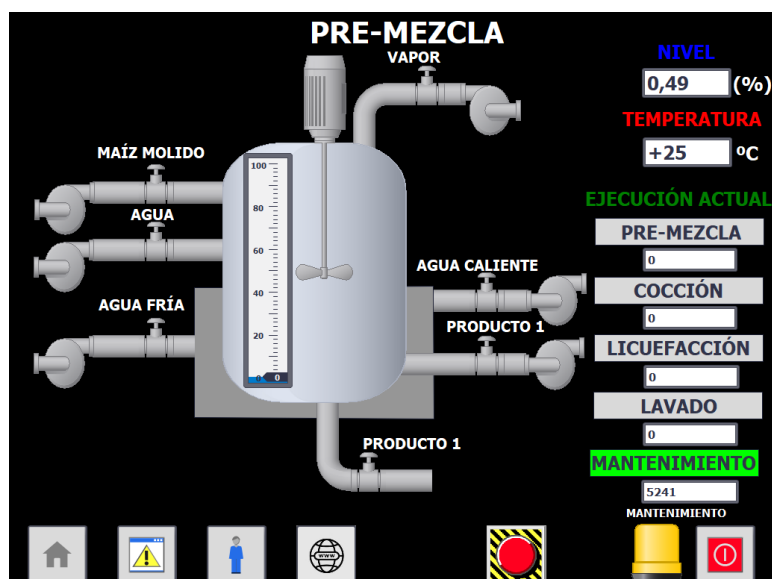
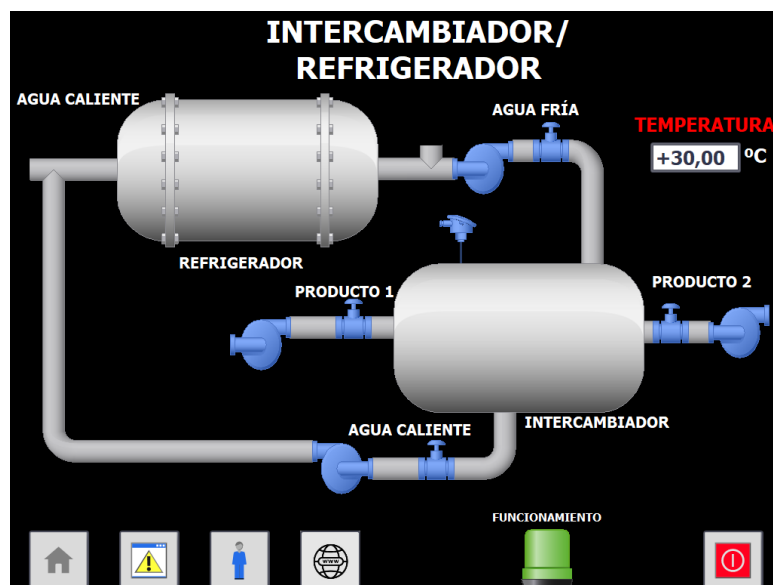


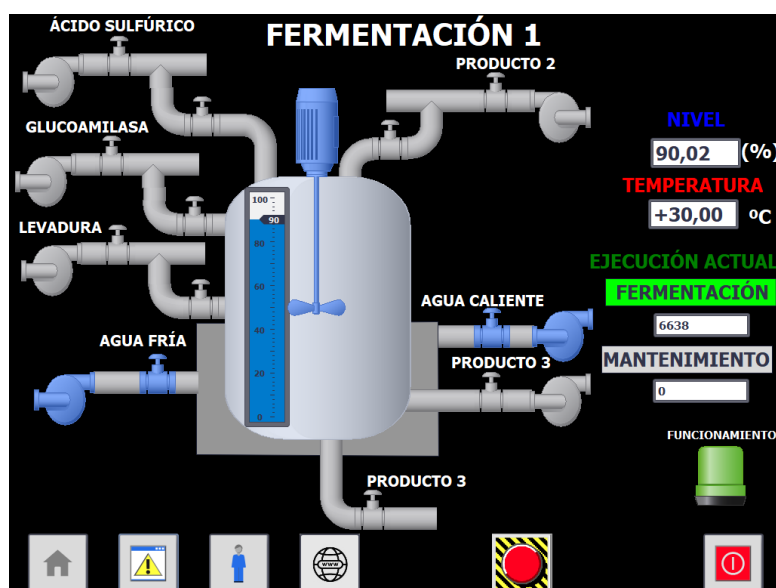
Figura 7.7 Pantalla tanc de premescla, etapa de manteniment.

A la figura anterior es mostra l'etapa de manteniment, amb el LED indicador de manteniment activat i tots els elements del tanc desactivats.



**Figura 7.8** Pantalla intercanviador i sistema de refrigeració.

A la figura anterior es mostra el moment d'entrada i sortida de producte a l'intercanviador i alhora l'entrada i sortida d'aigua provinent del sistema de refrigeració que en tot moment manté la temperatura de l'intercanviador a 30 °C.



**Figura 7.9** Pantalla del tanc de fermentació, etapa de fermentació.

A la figura anterior es mostra un tanc de fermentació en etapa de fermentació i tenim actiu el motor, i l'entrada d'aigua a la camisa del tanc per a refrigerar l'interior.

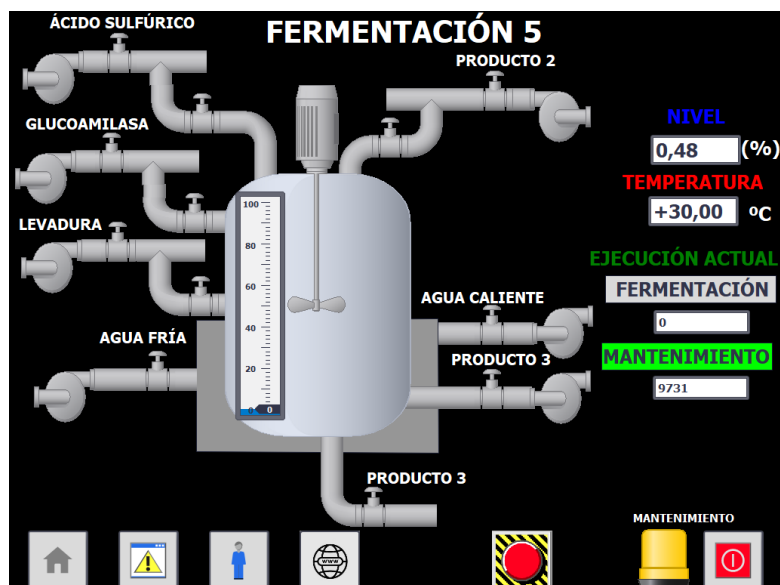


Figura 7.10 Pantalla del tanc de fermentació, etapa de manteniment.

A la figura anterior es pot veure l'etapa de manteniment, on cap element està actiu i es visualitza el LED indicador de l'etapa.

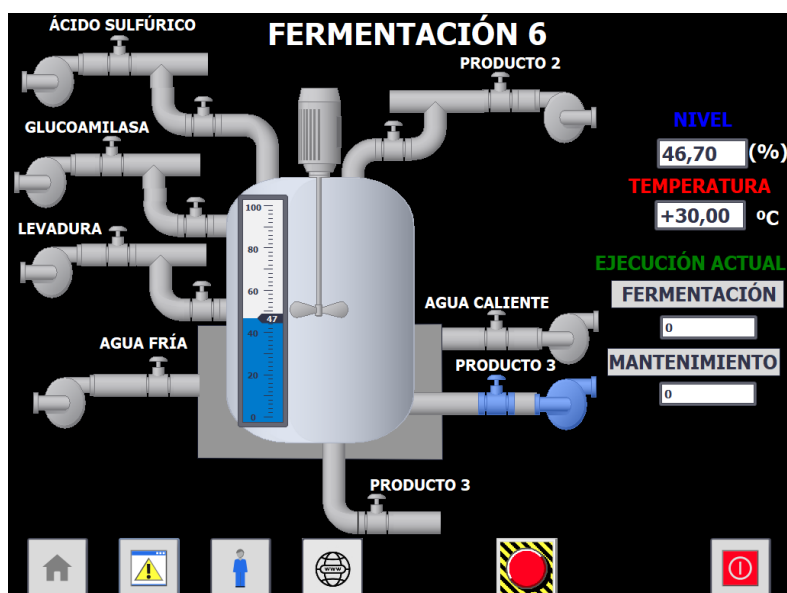
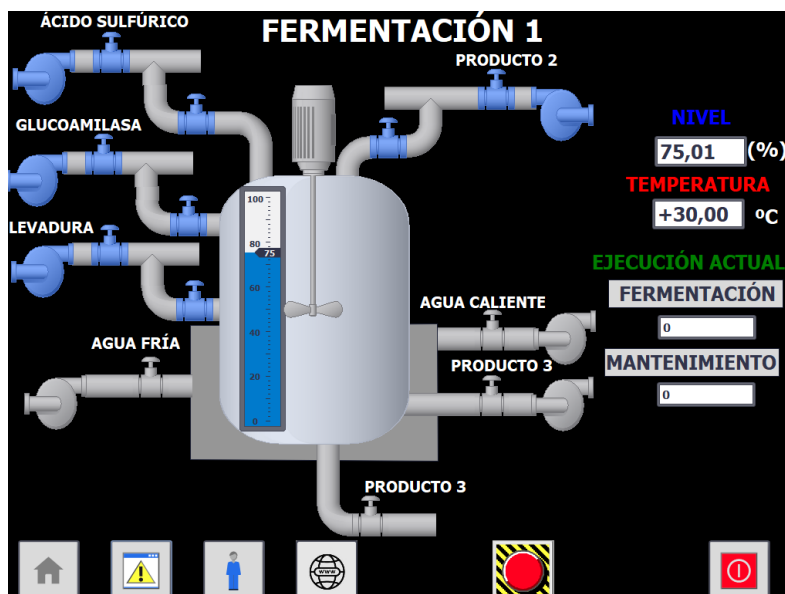


Figura 7.11 Pantalla del tanc de fermentació, sortida de producte.

A la figura anterior es mostra la sortida de producte del tanc de fermentació per dirigir-se cap a la columna de destil·lació.



**Figura 7.12** Pantalla del tanc de fermentació, entrada de producte.

A la figura anterior es mostra l'entrada dels productes al tanc de fermentació.

Amb les imatges anteriors es mostra el correcte funcionament del procés. Les proves realitzades a mesura que avançava la programació i sobretot al final d'aquesta, han sigut satisfactòries i amb bons resultats obtinguts.

## 8. Normativa

### 8.1. Implementació del programa del PLC

Per a la implementació del programa del PLC s'ha seguit l'estàndard internacional IEC-61131 que s'aplica a autòmats programables i als perifèrics corresponents tals com: els equips de programació i depuració, els equips d'assaig i les interfícies home-màquina.

La finalitat d'aquesta norma IEC-61131 és la de definir i identificar les característiques principals per a la selecció i aplicació dels PLC's i els seus perifèrics, especificar els requisits mínims per a les característiques funcionals, les condicions de servei, els aspectes constructius i la seguretat general. També s'encarrega de definir els llenguatges de programació d'ús més comú, les regles sintàctiques i semàntiques i el joc d'instruccions fonamental. Definir les comunicacions entre els PLC's i els altres sistemes.

La norma es divideix en 8 documents independents:

- Part 1: informació general.
- Part 2: especificacions i assajos dels equips.
- Part 3: Llenguatges de programació.
- Part 4: guies d'usuaris.
- Part 5: comunicacions.
- Part 6: seguretat funcional.
- Part 7: programació de control difús.
- Part 8: directrius per a la aplicació i implementació dels llenguatges de programació.<sup>7</sup>

De les 8 parts de la normativa IEC-61131 la més comuna i la que més destaca és la 3, per això molts cops apareix directament com a IEC-61131-3. Aquesta part tracta sobre els llenguatges de programació i defineix els seus estàndards.

Els llenguatges dels quals es fa menció són:

- Diagrama de contactes (LD – *Ladder Diagram*): llenguatge de programació gràfic.
- Diagrama de blocs de funcions (FBD - *Function Block Diagram*): llenguatge de programació gràfic.
- Text estructurat (ST- *Structured Text*): llenguatge de programació textual.
- Llista d'instruccions (IL - *Instruction List*): llenguatge de programació textual.

- Blocs de funció seqüencials (SFC – *Sequential Function Chart*): llenguatge que descriu gràficament el comportament seqüencial d'un programa.

La programació del procés, tal i com s'ha mencionat anteriorment, s'ha realitzat mitjançant el diagrama de contactes o *Ladder*. Per tant, s'ha seguit la normativa estipulada.

El IEC-61131-3 inclou instàncies de funcions estàndards definides:

- ADD
- ABS
- SQRT
- SIN
- COS

Al programa s'ha utilitzat per exemple la funció ADD, però també s'han utilitzat molts altres blocs de funció que venien creats al Tia Portal.

L'estàndard IEC-61131-3 també indica els tipus de dades a utilitzar per a poder evitar errors en el desenvolupament del programa. Els diferents tipus de dades compatibles amb l'estàndard són:

- Booleans (*Bool*)
- Enters (*Integer*)
- Reals (*Real*)
- *Byte*
- *Word*
- *Date*
- *Time-of-Day*
- *String*

L'estàndard també permet als usuaris definir les seves pròpies variables, que es coneix com a tipus de dades derivades. Les variables són assignades a direccions específiques del hardware, o a entrades i sortides específiques.

La majoria de tipus de variables mencionades anteriorment han estat utilitzades durant el programa i alguna altra que també estava creada dins el propi Tia Portal.



## 8.2. Programació de la HMI

Per al desenvolupament de la programació de la HMI s'ha seguit la norma ISA 101. Aquesta norma estableix els estàndards i les pràctiques recomanades a la hora de realitzar interfícies home-màquina per aplicacions de fabricació o processos.

La HMI és el principal enllaç i eina entre els operadors i els sistemes automàtics, ja que proporciona informació i control sobre el procés físic. Un HMI ben dissenyat amb pantalles fàcils d'entendre amb opcions clares, provocarà menys errors, augmentarà la productivitat, reduint l'estrès entre operaris i evitarà pèrdues per a l'empresa.

La norma defineix els models de la terminologia i el desenvolupament de un HMI, per a proporcionar orientació per a dissenyar, construir, operar i mantenir HMI efectives que resultin segures eficaces i per a fer el control del procés més eficient. Un altre objectiu d'aquest estàndard és el de millorar la capacitat de l'usuari per a detectar, diagnosticar i respondre adequadament a situacions anormals.

Un altre estàndard utilitzat a l'hora de realitzar el HMI ha sigut l'estàndard ISA 5.5. El propòsit d'aquest és establir un criteri de símbols gràfics per a les interfícies de les pantalles de processos de supervisió i control.

El seu principal objectiu és fer el més simple possible la comprensió de tot el que es mostra en pantalla, agilitzant així les gestions que ha de realitzar l'usuari.

La implementació d'aquesta norma al projecte consisteix en la utilització dels colors que proposa la norma:

- Vermell: emergència
- Groc: precaució.
- Verd: operació normal
- Blau clar: pas de fluid
- Negre: fons

## 9. Anàlisi de l'impacte ambiental

L'impacte ambiental del procés de producció de bioetanol realitzat serà mínim ja que a la planta s'instal·laran els equips necessaris per al tractament de la vinassa i la seva neutralització. Alhora es realitzaran tractaments de recuperació, purificació i emmagatzematge del CO<sub>2</sub> generat als tancs de fermentació. La resta del procés no realitza cap mena d'impacte ambiental nociu.

El sistema de tractament proposat per al CO<sub>2</sub> és el següent:

- El CO<sub>2</sub> procedent de la columna de rentada és comprimit amb l'ajuda d'un compressor de dues etapes fins a una pressió al voltant de 24 bars per al tractament del CO<sub>2</sub> gasós (rentat, purificació, assecat i condensació del CO<sub>2</sub> gasós).
- Un cop comprimit, el CO<sub>2</sub> gasós és tractat per eliminar les impureses mitjançant un sistema compost per un llit de carbó activat per a l'eliminació de les males olors seguit d'un llit de gel de sílice per a l'eliminació de la humitat que contingui el corrent gasós de CO<sub>2</sub>.
- Després d'això, el CO<sub>2</sub> lliure d'impureses i humitat és líquid a -50 °C en una planta de refrigeració que empra el refrigerant R23. Després de ser líquid, el CO<sub>2</sub> líquid és conduït amb l'ajuda d'un equip de bombament apropiat fins als tancs d'emmagatzematge de CO<sub>2</sub> líquid.

Pel que fa a la vinassa, des del tanc d'emmagatzematge és conduïda a una etapa de decantació, a la qual es pretén aconseguir que la major part dels sòlids de la mescla surtin pel fons, mentre que aquells sòlids encara dissolts en l'aigua s'envien a un sistema d'evaporació.

El corrent de sortida de sòlids pesats de la centrifugadora, es barreja amb el corrent de sòlids pesats que abandona l'evaporador, que conté tot el material sòlid soluble. El percentatge de sòlids és només d'un 5% de sòlids solubles, i es pot subministrar al bestiar com a substitut de l'aigua. La barreja dels dos corrents conté la totalitat del material sòlid que compon el corrent de vinassa, i es condueixen a un assecador al qual es durà a terme l'eliminació del contingut en aigua que acompanya els sòlids fins a un 10-12%. Que és el contingut d'humitat requerit per poder vendre la vinassa com un subproducte, el qual és emprat com a material complementari d'alimentació per al bestiar. Aquest material, després de l'assecador, es dirigeix a una planta de pel·letització, en la qual s'emmagatzema per a la seva posterior distribució.

A l'evaporador, l'aigua que s'ha separat de la barreja de sòlids, es condueix cap a un tanc en què s'emmagatzema tota l'aigua recirculada del procés, en el qual es barreja amb l'aigua procedent de la centrifugació.

## Conclusions

Per a concloure el projecte podem comprovar el que s'ha realitzat i valorar el treball fet respecte als objectius i les expectatives inicials.

A l'hora de plantejar-se el projecte, l'objectiu inicial era d'automatitzar una planta de producció de bioetanol que tingués una aplicació real i una capacitat de producció acceptable. Aquest objectiu doncs, s'ha complert i es pot dir que tot i que no s'ha automatitzat tota la planta sencera que es necessitaria tant per a la producció de bioetanol com per al tractament dels residus generats, es podria acoblar a la perfecció al projecte realitzat.

El plantejament inicial del projecte no incloïa el plantejament d'instal·lar més d'un tanc de fermentació, i en aquest cas, s'hi ha instal·lat 10 tancs en sèrie perquè la producció de bioetanol fos molt més alta i d'aquesta manera el tanc de premescla no es quedava sense treballar durant unes quantes hores.

El programa que s'ha realitzat per a l'autòmat permet introduir més tancs de manera molt senzilla en el cas que la planta es volgués fer més gran o es volgués produir més etanol i a més, també s'hi pot afegir el tractament de residus amb facilitat gràcies a la programació per blocs i funcions. Mitjançant una crida al bloc de funció del tanc de fermentació i una programació de dos o tres segments, tindríem un altre tanc de fermentació preparat per afegir-se a la producció.

També cal comentar que la confecció de les HMI per a utilitzar-se a la planta per a la visualització i control dels operaris, s'ha realitzat de forma entenedora i senzilla per tal que no hi poguessin haver confusions i problemes a l'hora d'entendre el procés i el funcionament d'aquest.

Tot i que es podrien afegir algunes altres opcions i es podria optimitzar una mica més, el resultat final ha estat satisfactori i funcional.

A títol personal, aquest projecte m'ha ajudat a créixer professionalment i m'ha ajudat a assolir conceptes que no acabava de tenir clars i que seran la base del futur. M'ha ajudat a confeccionar el perfil professional que buscava i crec que el treball ha sigut l'òptim per a culminar la formació realitzada durant els últims anys a la universitat.



## Pressupost

### Cost del material

El cost del material al que es fa referència inclou tots els elements necessaris per a realitzar el projecte. Aquests elements poden ser tant a nivell de hardware com de software. Aquest cost es pot desglossar en dos: un referent als elements que s'han utilitzat per a realitzar el projecte i l'altre referent al PLC i els seus mòduls que seran necessaris per a una planta real.

Degut a que no he utilitzat un PLC físic ja que l'he simulat per software, es realitzarà el pressupost dels dos casos. A la primera taula es mostra el pressupost del projecte realitzat i a la segona el pressupost per a l'execució en una planta real dels elements de l'àmbit de l'automatització.

**Taula 1.** Pressupost del projecte.

Material	Referència	Unitats	Preu unitari (€)	Total
<b>Ordinador portàtil SIMATIC FIELD PG M6</b>	6ES7718-0BB00-0AC0	1	4.635,00	4.635,00
<b>Llicència TIA Portal v15.1</b>	Inclou al portàtil	1	-	-
<b>Llicència SIMATIC WinCC Runtime Advanced V15.1</b>	Inclou al portàtil	1	-	-
<b>Llicència S7-PLCSIM V15.1</b>	Inclou al portàtil	1	-	-
<b>Cost Base</b>				4.635,00
<b>IVA 21%</b>				973,35
<b>TOTAL</b>				<b>5.608,35€</b>

Taula 2. Pressupost per a la planta real.

Material	Referència	Unitats	Preu unitari (€)	Total
<b>Ordinador portàtil SIMATIC FIELD PG M6</b>	6ES7718-0BB00-0AC0	1	4.635,00	4.635,00
<b>Llicència TIA Portal v15.1</b>	Incloa al portàtil	1	-	-
<b>Llicència SIMATIC WinCC Runtime Advanced V15.1</b>	Incloa al portàtil	1	-	-
<b>Llicència S7-PLCSIM V15.1</b>	Incloa al portàtil	1	-	-
<b>PLC SIMATIC S7-1500</b>	6ES7515-2AM01-0AB0	1	1.858,22	1.858,22
<b>SIAMTIC PS 25W</b>	6ES7505-0KA00-0AB0	1	163,13	163,13
<b>DI 16x24VDC BA</b>	6ES7521-1BH10-0AA0	1	164,59	164,59
<b>DQ 32x24VDC/0.5A ST</b>	6ES7522-1BL01-0AB0	5	322,75	1.613,75
<b>AQ 8xU/I HS</b>	6ES7532-5HF00-0AB0	1	542,41	542,41
<b>AI 8xU/I/RTD/TC ST</b>	6ES7531-7KF00-0AB0	5	470,55	2.352,75
<b>Pantalla KP 1500</b>	6AV2124-0QC02-0AX1	1	2.570,00	2.570,00
<b>Cost Base</b>				13.899,85
<b>IVA 21%</b>				2.918,97
<b>TOTAL</b>				<b>16.818,82€</b>

## Cost de la mà d'obra

En aquest apartat es fa referència als costos de mà d'obra i de les hores de dedicació per als diversos apartats, determinant un preu per hora treballada d'un enginyer junior i en funció de l'activitat realitzada en aquestes hores.

**Taula 3.** Pressupost de la mà d'obra.

Activitat	Unitats (h)	Preu unitari (h)	Total
<b>Recull d'informació/planificació</b>	50	15	750
<b>Programació del PLC</b>	250	20	5.000
<b>Programació de la HMI</b>	250	20	5.000
<b>Documentació</b>	100	15	1.500
<b>Cost Base</b>			12.250
<b>IVA 21%</b>			2.572,50
<b>TOTAL</b>	<b>650</b>		<b>14.822,50€</b>

## Cost total

Per últim es realitza el pressupost del cost total del projecte.

**Taula 4.** Pressupost total del projecte.

Concepte	Unitats	Preu unitari (€)	Total
<b>Cost del material</b>	1		5.608,35€
<b>Cost de la mà d'obra</b>	1	14.822,50	14.822,50
<b>TOTAL</b>			<b>20.430,85€</b>

Observant el cost total del projecte, es comprova que no és un preu massa alt per a un projecte com el realitzat. A partir de la seva implementació, es reduirien costos de producció, de manteniment, de mà d'obra i de problemes causats per errors dels operaris. Així doncs, es podria amortitzar el cost de la inversió.



## Bibliografia

- [1] Y. Abuámer, "Diseño Básico De Una Planta Piloto De Producción De Etanol," pp. 1–17, 2005.
- [2] H. Aydogan, A. E. Ozcelik and M. Acaroglu, "An experimental study on the effects of bioethanol — Gasoline blends on engine performance in a spark ignition engine," 2017 International Conference on Consumer Electronics and Devices (ICCED), London, 2017, pp. 23-26.
- [3] L. Dewasme, A. Vande Wouwer and Y. Samyudia, "Modeling and optimization of bioethanol production process," 2015 19th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), Cheile Gradistei, 2015, pp. 37-42.
- [4] L. Gyenge, B. Ráduly, R. Barrera, X. Font, S. Lányi and B. Ábrahám, "Efficiency of biogas production from corn bioe-ethanol by-products using different inocula," 2013 4th International Youth Conference on Energy (IYCE), Sioófok, 2013, pp. 1-6.
- [5] K. Li and J. c. Jiang, "Summary of the development of bioenergy in the future," 2011 International Conference on Materials for Renewable Energy & Environment, Shanghai, 2011, pp. 400-403.
- [6] F. M. Martín, "Entornos Integrados de Automatización," pp. 1–76, 6113.
- [7] J. Oviden, J. Manrique and W. Ipanaqué, "Modelling, simulation and nonlinear control of an evaporator for bioethanol production," 2017 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON), Pucon, 2017, pp. 1-6.
- [8] A. A. Sari, N. Ariani, Muryanto, A. Kristiani, T. B. Utomo and Sudarno, "Potential of oil palm empty fruit bunches for bioethanol production and application of chemical methods in bioethanol wastewater treatment : OPEFB for bioethanol and its wastewater treatment," 2017 2nd International Conference Sustainable and Renewable Energy Engineering (ICSREE), Hiroshima, 2017, pp. 49-52.
- [9] A. Tgarguifa and S. Abderafi, "A comparative study of separation processes for bioethanol production," 2016 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), Marrakech, 2016, pp. 890-895.
- [10] Comisión de la Unión Europea, "Directiva 2009/30/CE del Parlamento Europeo del Consejo," Unión Eur., vol. 140/88, no. 8, pp. 88–113, 2009.
- [11] T. D. E. C. Europeo, El sistema de la UE para la certificación de los biocarburantes sostenibles. 2016.

[12] P. Europeo, “Directiva 2009/28/Ce Del Parlamento Europeo Y Del Consejo de 23 de abril de 2009,” D. Of. la Unión Eur., vol. 140, no. 2, pp. 16–62, 2009.

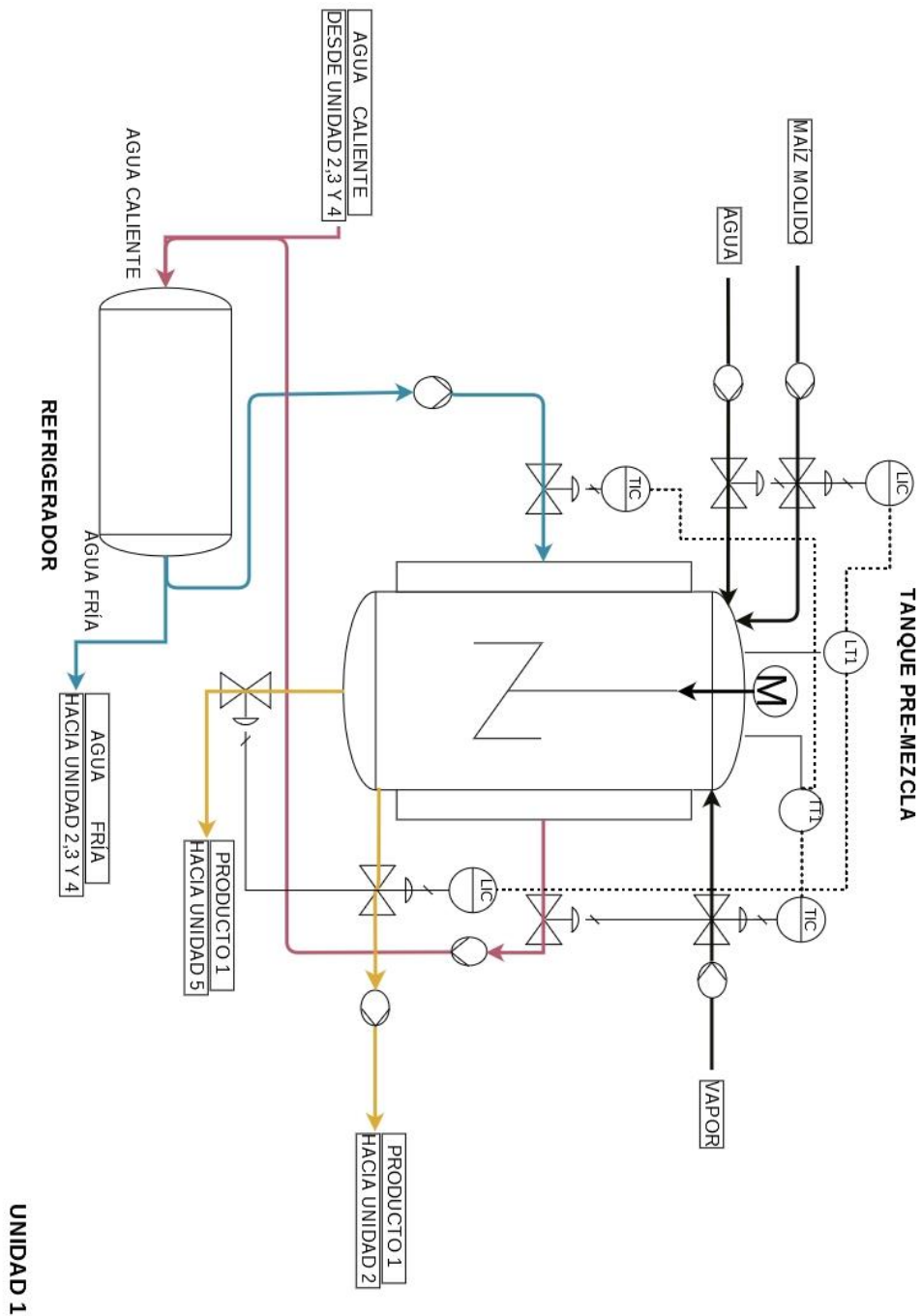
[13] L. C. Industrial, “lec 61131-3,” pp. 1–7.

## Web grafia

- [1] Biorefineries Blog, el sector de l'etanol a Espanya. <<https://biorrefineria.blogspot.com/2017/09/el-sector-del-etanol-en-espana-segun-el-USDA-FAS.html>>
- [2] Destil·lació del bioetanol a partir de canya de sucre. <<http://todosobreladestilacion.blogspot.com/>>
- [3] Wikipedia, bioenergia. <<https://es.wikipedia.org/wiki/Bioenerg%C3%ADa>>
- [4] Wikipedia, IEC 61131 [https://es.wikipedia.org/wiki/IEC\\_61131](https://es.wikipedia.org/wiki/IEC_61131)
- [5] Wikipedia, IEC 61131-3 [https://es.wikipedia.org/wiki/IEC\\_61131-3](https://es.wikipedia.org/wiki/IEC_61131-3)
- [6] Govern d'Espanya, Ministeri per a la transició ecològica. <<https://geoportalgasolineras.es/#/Inicio>>
- [7] ISA, ISA 101. <<https://www.isa.org/isa101/>>
- [8] RBA Ambiental, què és la bioenergia. <<http://www.rba-ambiental.com.ar/bioenergia/que-es-la-bioenergia/>>
- [9] Siemens, PCS-7 exemple per a la indústria química reactor de tanc d'agitació. <<https://support.industry.siemens.com/cs/document/60546560/pcs-7-unit-template-con-un-ejemplo-para-la-industria-qu%C3%ADmica-reactor-tanque-de-agitaci%C3%B3n-?dti=0&lc=es-WW>>
- [10] Siemens, Tia Portal. <<https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/tia-portal/pages/tiaportal.aspx>>

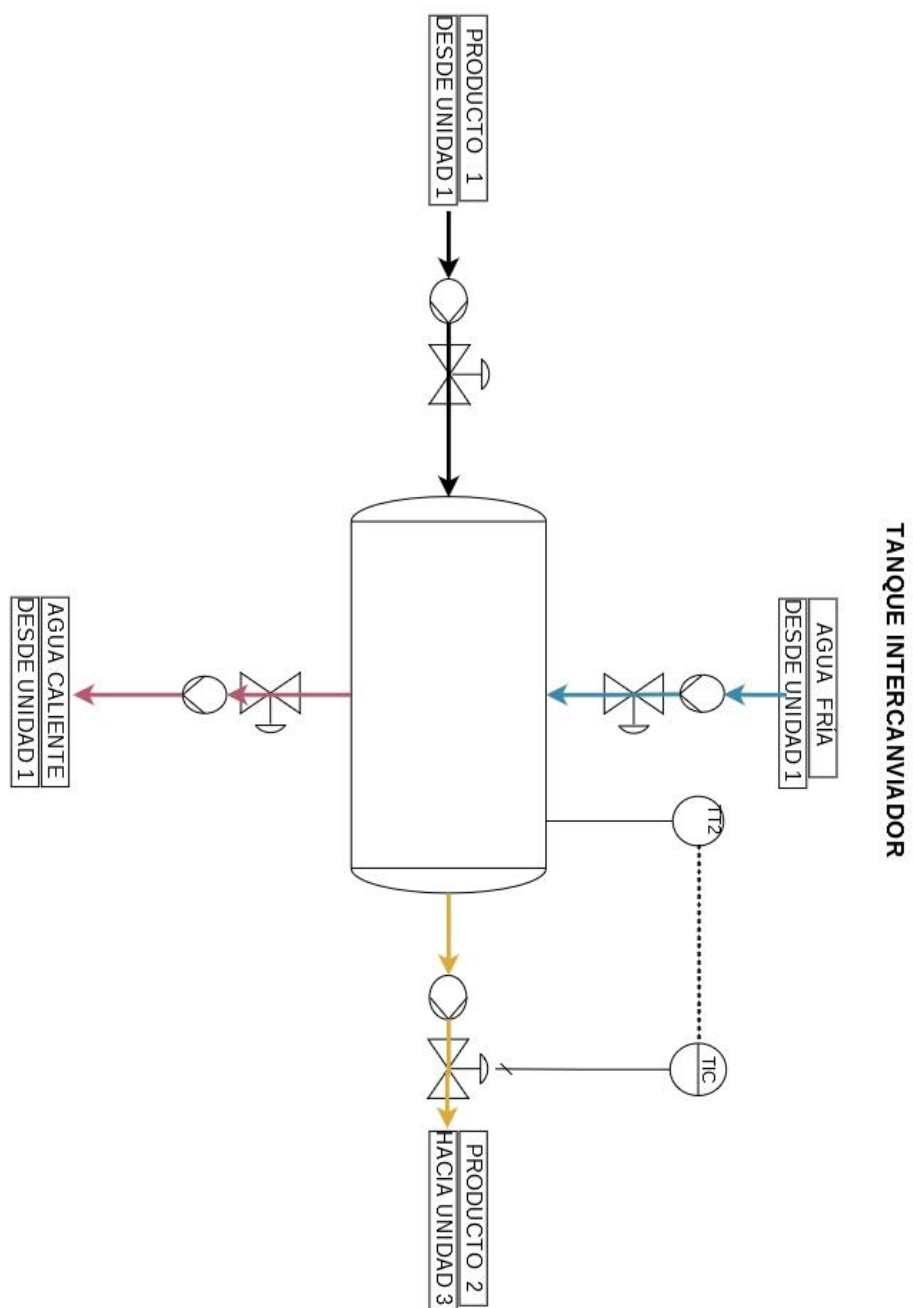
## Annex A : P&ID

### A1. P&ID Unitat 1



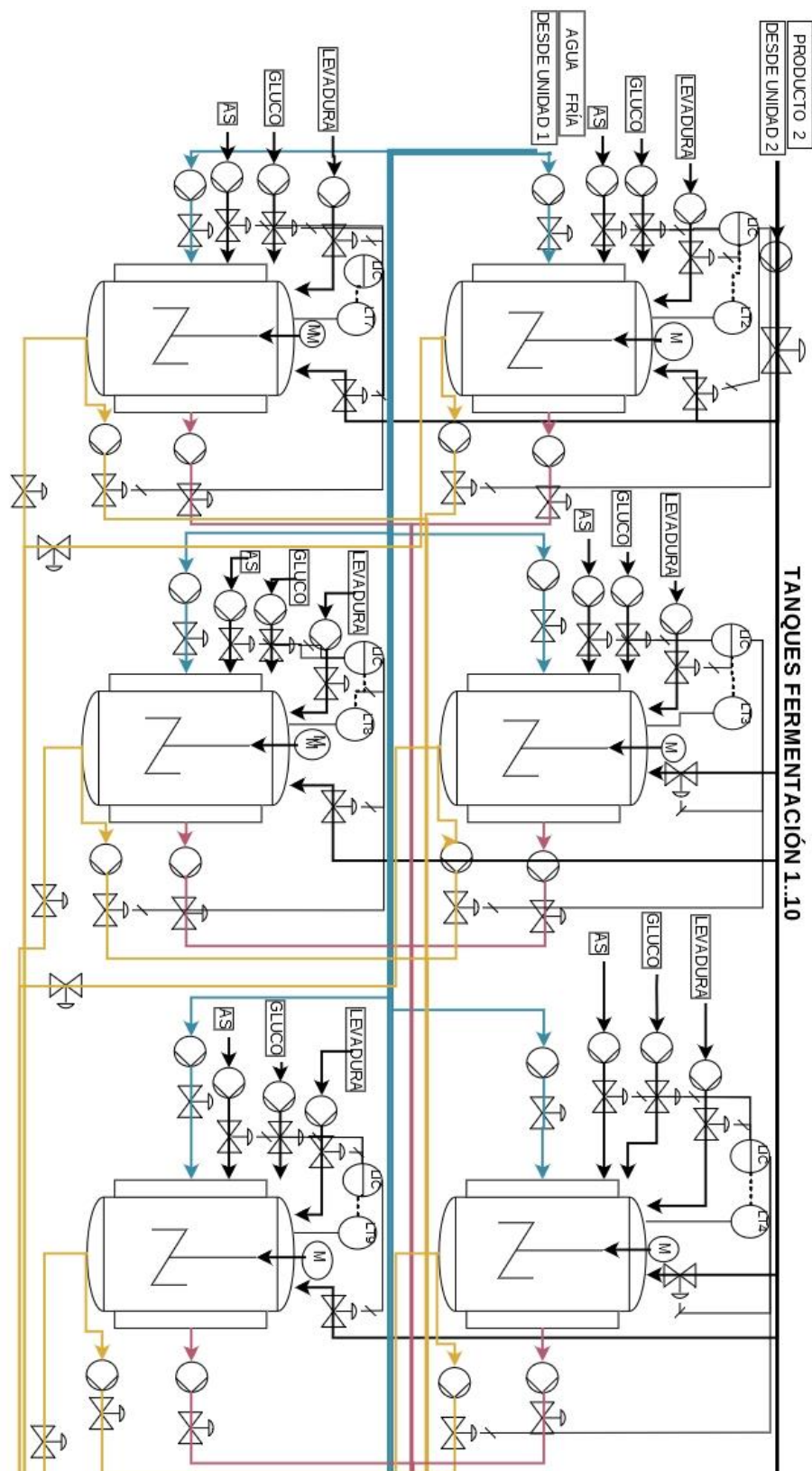
UNIDAD 1

## A2. P&ID Unitat 2



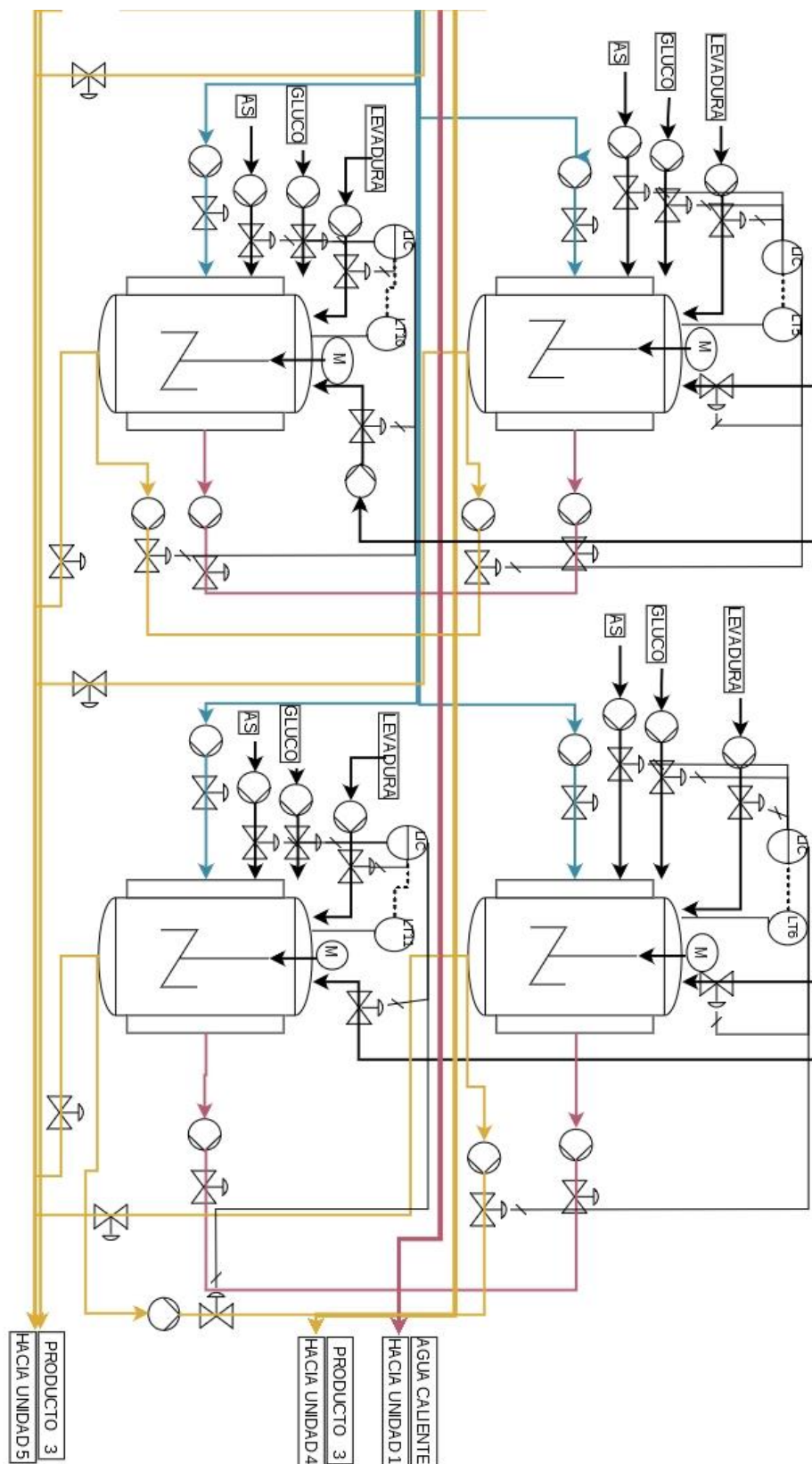
UNIDAD 2

## A3. P&amp;ID Unitat 3

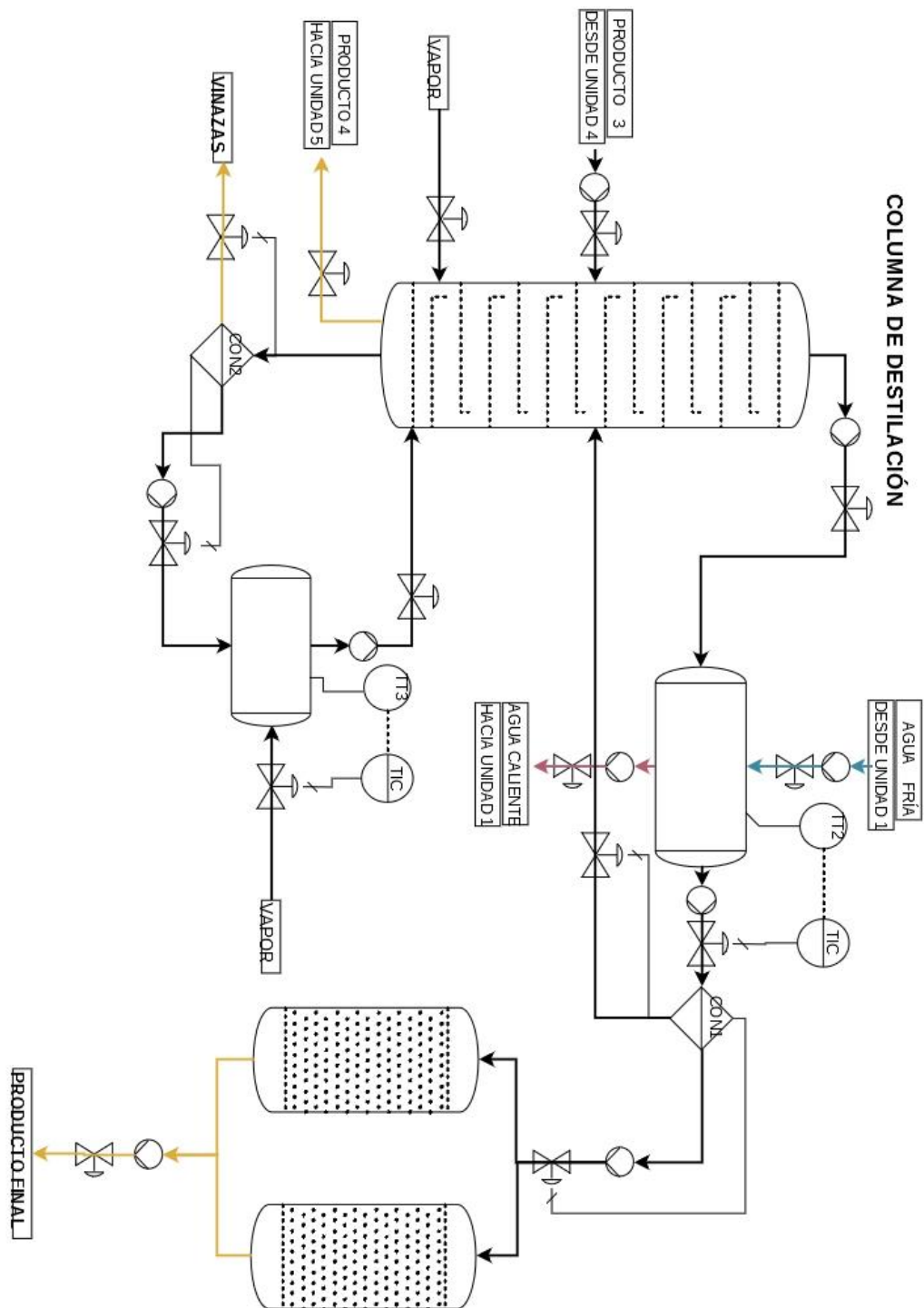


UNIDAD 3

UNIDAD 3



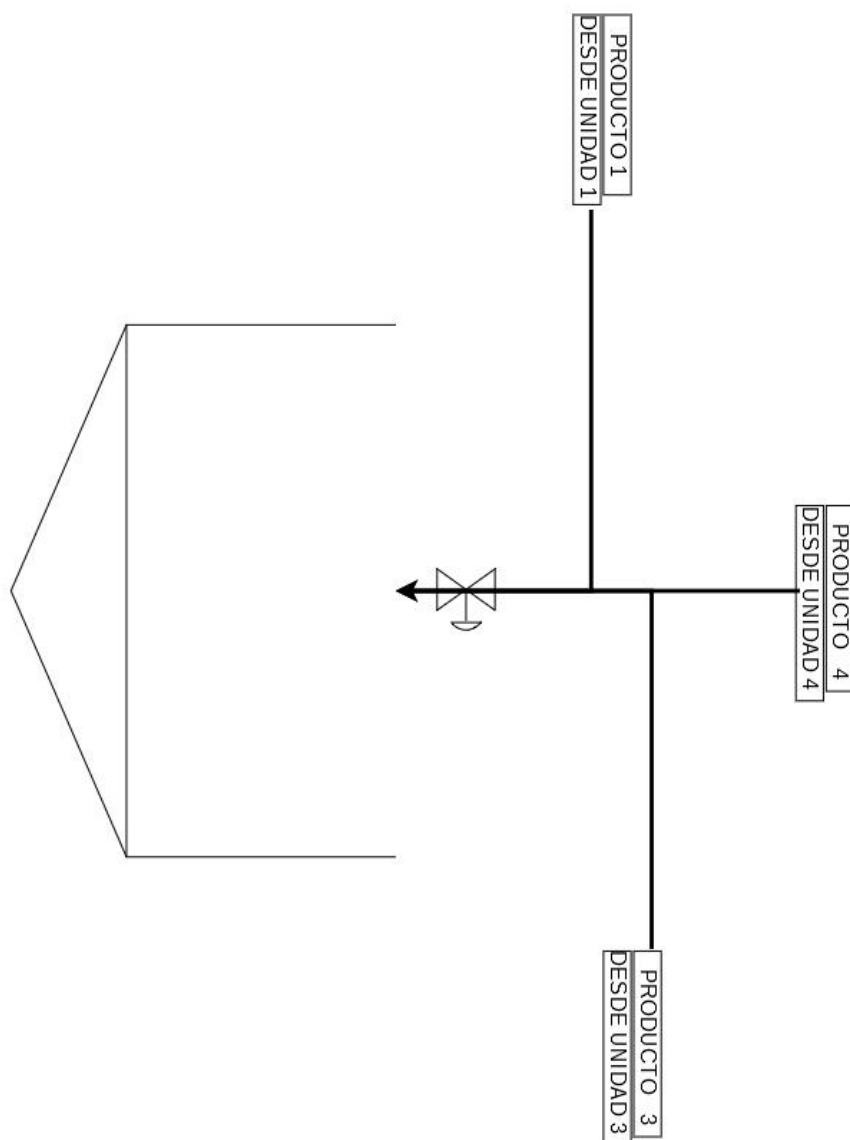
## A4. P&ID Unitat 4



UNIDAD 4



## A5. P&ID Unitat 5



UNIDAD 5

